

# DESAIN DAN IMPLEMENTASI PENYEARAH GELOMBANG 6 TINGKAT UNTUK APLIKASI PEMANEN ENERGI FREKUENSI RADIO

*“Design and Implementation of a Six Stage Wave Rectifier For Radio Frequency Energy Harvesting Applications”*

**Ahmad Suwandi**

Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sangga Buana YPKP

[ahmad.d.suwandi@gmail.com](mailto:ahmad.d.suwandi@gmail.com)

## **ABSTRAK**

Pemanen energi adalah suatu proses pengambilan energi dari lingkungan sekitar yang dapat digunakan sebagai sumber daya untuk mengoperasikan perangkat berdaya rendah. Energi yang dimaksud berupa gelombang elektromagnetik yang terbuang dari beberapa sumber BTS. Gelombang elektromagnetik ditangkap melalui antena kemudian dikonversi menjadi energi listrik oleh suatu rangkaian penyearah gelombang sehingga bisa dimanfaatkan kembali sebagai salah satu sumber energi yang baru.

Pada penelitian ini dilakukan desain untuk rangkaian penyearah gelombang menggunakan program simulasi *Advanced Design System* (ADS) 2009. Setelah melakukan studi perbandingan dari beberapa data dan referensi, telah dipilih rangkaian penyearah gelombang model Dickson yang disusun 6 tingkat dengan komponen utama berupa Dioda Schottky HSMS-2852, dan kapasitor 22 pF.

Hasil simulasi pada frekuensi 900 MHz, rangkaian penyearah gelombang 6 tingkat ini menghasilkan keluaran tegangan 1,444 V DC pada -14 dBm dan 5,984 V DC pada 0 dBm.

**Kata Kunci:** Rangkaian penyearah gelombang 6 tingkat, dioda Schottky, program simulasi ADS 2009, pemanen energi.

## **ABSTRACT**

*Energy harvesting is a process of extracting energy from the surrounding environment which can be used as a resource to operate low power devices. The energy in question is in the form of electromagnetic waves which are wasted from several BTS sources. Electromagnetic waves are captured through the antenna and then converted into electrical energy by a series of wave rectifiers so that they can be reused as a new energy source.*

*In this study, a design for a wave rectifier circuit was carried out using the 2009 Advanced Design System (ADS) simulation program. After conducting a comparative study of some data*

*and references, a dickson-type wave rectifier circuit arranged in 6 levels was selected with the main component in the form of a Schottky HSMS-2852 diode and a 22 pF capacitor.*

*The simulation results at a frequency of 900 MHz, this 6 stage wave rectifier circuit produces a voltage output of 1.444 V DC at -14 dBm and 5.984 V DC at 0 dBm.*

*Keyword: Six stage wave rectifier circuit, Schottky diode, ADS 2009 simulation program, energy harvester.*

## 1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi yang semakin pesat diiringi dengan berkembangnya zaman, mengakibatkan terjadinya peningkatan kebutuhan energi yang cukup banyak, sehingga konsumsi energi menjadi salah satu masalah krusial bagi kehidupan manusia.

Efisiensi energi dibutuhkan untuk permasalahan yang krusial ini. Maka manusia mulailah mengenal suatu usaha untuk mendapatkan energi dari sumber lain seperti elektromagnetik, panas, angin, dan cahaya. Energi-energi tersebut ditangkap dan disimpan untuk kebutuhan sehari-hari bagi manusia hingga proses ini dikenal dengan sebutan pemanen energi.

Pemanenan energi dilakukan dengan cara menangkap, memproses, dan menyimpan dari energi-energi yang terbuang dalam aktivitas sehari-hari. Salah satunya pemanen energi elektromagnetik frekuensi radio. Konsepnya

mendapatkan dan memanfaatkan energi yang terbuang dari *Base Transceiver Station* (BTS). Sumber energi ini dapat ditemukan dengan mudah mengingat pengguna komunikasi seluler dan jaringan internet semakin besar.

Secara umum pemanen energi sinyal RF memerlukan komponen utama berupa antenna untuk menangkap energi RF, *rectifier* untuk konversi sinyal tegangan bolak – balik AC (*Alternating Current*) menjadi tegangan searah DC (*Direct Current*), serta untuk meningkatkan daya agar daya yang dihasilkan atau output-nya bisa lebih besar.

Pada penelitian sebelum tugas akhir ini, sudah dilakukan penelitian mengenai antenna untuk menangkap energi frekuensi radio dan simulasi perancangan *rectifier* untuk konversi sinyal tegangan bolak – balik. Maka berdasarkan latar belakang tersebut dalam tugas akhir ini akan dikembangkan desain dan implementasi *rectifier* untuk aplikasi pemanen energi frekuensi radio pada frekuensi 900 Mhz.

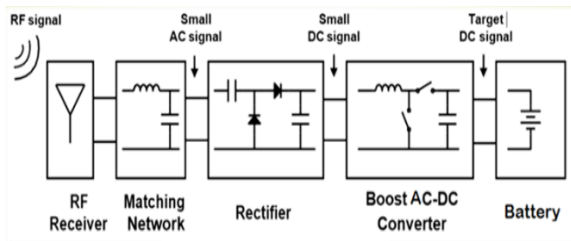
## 2. METODOLOGI

### 2.1 Pemanen Energi Frekuensi Radio

Pemanen Energi merupakan suatu proses dimana energi dari berbagai macam sumber yang ada ditangkap dan dipanen. Sistem pemanen energi ini dapat diaplikasikan untuk catudaya bagi perangkat berkebutuhan daya rendah. Dalaam aplikasinya, sistem pemanen energi dapat digunakan untuk menyuplai perangkat berkebutuhan daya rendah secara terus-menerus dikarenakan terdapat banyak

sekali sumber energi yang tersedia untuk dipanen[1].

Perangkat pemanen energi frekuensi radio adalah teknologi yang diciptakan untuk menghasilkan tenaga listrik melalui proses pemanenan energi yang diperoleh dari lingkungan sekitar berupa sinyal frekuensi radio yang berbentuk gelombang elektromagnetik. Energi yang telah dipanen diubah menjadi energi listrik DC (*Direct Current*).



**Gambar 2.1. Diagram blok dasar dari pemanen energi frekuensi radio.[1]**

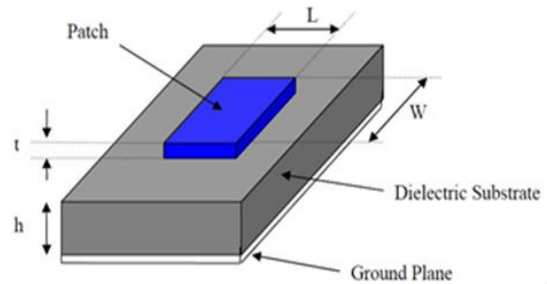
Pada dasarnya perangkat sistem pemanen energi ini tidak mempengaruhi sistem GSM yang ada, karena perangkat ini hanya menangkap kelebihan energi yang ditransmisikan oleh *Base Transceiver Station* (BTS) yang kemudian di konversi menjadi energi listrik DC yang dapat dimanfaatkan kembali.

## 2.2 Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip adalah suatu konduktor metal yang menempel diatas groundplane yang diantaranya terdapat bahan dielektrik yang dapat digunakan untuk menghantarkan dan mempropagasikan

gelombang elektromagnetik. Selain itu juga antena mikrostrip merupakan antena yang memiliki massa ringan dan mudah di fabrikasi, dengan ukurannya yang kecil maka antena mikrostrip dapat dengan mudah ditempatkan di segala jenis permukaan.

Sebagai media propagasi gelombang elektromagnetik, maka secara karakteristik dapat dibuat untuk suatu rancangan sebuah saluran transmisi dan radiator antena. Secara konseptual rancangan sebuah antena mikrostrip dilakukan melalui dua tahap, yaitu: merancang model saluran transmisi dan merancang ukuran dan model peradiasi atau radiator[2].



**Gambar 2.2. Elemen pada Antena Mikrostrip.[2]**

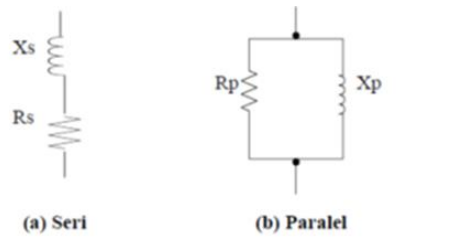
Seperti yang terlihat pada gambar 2.2, merupakan bentuk yang paling dasar, pada sebuah antena mikrostrip yang terdiri dari sebuah *patch* sebagai elemen peradiasi, saluran pentransmisi, *substrate* dielektrik dan *ground plane*.

Elemen peradiasi (radiator) berfungsi untuk meradiasikan gelombang listrik dan magnet. Elemen ini biasa disebut dengan radiator *patch* dan terbentuk dari lapisan logam metal yang memiliki ketebalan tertentu. Jenis

logam yang biasanya digunakan adalah tembaga (*copper*). Ada beberapa jenis radiator berdasarkan bentuknya, diantaranya *rectangular* (segiempat), *triangular* (segitiga), lingkaran dan lain-lain.

### 2.3 Rangkaian Penyesuaian Impedansi

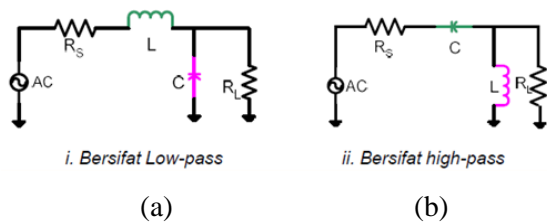
Prinsip dasar dari rangkaian penyesuaian impedansi ini adalah ekivalen antara rangkaian paralel dan seri. Suatu rangkaian seri yang terdiri dari tahanan dan reaktansi seri dapat di ekivalenkan dengan suatu rangkaian paralel yang mempunyai karakteristik impedansi yang sama. [3]



Gambar 2.3. Rangkaian Ekivalen Seri dan Paralel Tipe L dan R.[3]

#### 2.3.1 Rangkaian Penyesuaian Impedansi Tipe L

Rangkaian Penyesuaian impedansi bentuk L ini merupakan bentuk rangkaian penyesuaian yang paling sederhana dan merupakan dasar dari penyesuai impedansi. [3]



Gambar 2.4. Rangkaian Penyesuai Impedansi Tipe L.[4]

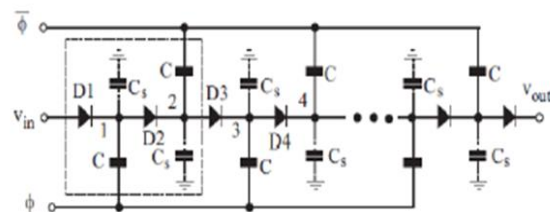
#### (a) Penyesuaian L dengan L seri, (b) Penyesuaian L dengan C seri

$$Q_S = Q_P = \sqrt{\frac{R_P}{R_S}} - 1 \rightarrow Q_S = \frac{X_S}{R_S} \rightarrow Q_P = \frac{R_P}{X_P} \quad (2.1)$$

### 2.4 Penyearah Gelombang Frekuensi Radio

Penyearah Gelombang adalah suatu bagian dari Rangkaian Catu Daya atau *Power Supply* yang berfungsi sebagai pengubah sinyal AC (*Alternating Current*) menjadi sinyal DC (*Direct Current*). Rangkaian *Rectifier* atau Penyearah Gelombang ini pada umumnya menggunakan Dioda sebagai Komponen Utamanya. Hal ini dikarenakan Dioda memiliki karakteristik yang hanya melewatkan arus listrik ke satu arah dan menghambat arus listrik dari arah sebaliknya. Jika sebuah Dioda dialiri arus Bolak-balik (AC), maka Dioda tersebut hanya akan melewatkan setengah gelombang, sedangkan setengah gelombangnya lagi diblokir. Pada dasarnya penyearah gelombang dibagi dua jenis, yaitu penyearah setengah gelombang dan penyearah gelombang penuh[4].

#### 2.4.1 Rangkaian Penyearah Bertingkat Model Dickson

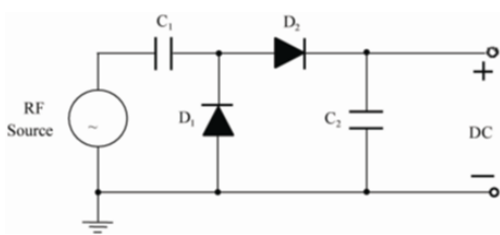


Gambar 2.5. Rangkaian Penyearah Bertingkat Model Dickson.[5]

Dasar rangkaian yang dibangun Gambar 2.6 terdiri dari beberapa rangkaian clamper yang tersusun secara bertingkat dan *clock eksternal*  $\phi$ ,  $\bar{\phi}$  sebagai pengatur dan penggerak sinyal penyearah.[5]

Model penyearah yang dirancang adalah modifikasi model penyearah Dickson di mana pada sisi konstruksi rangkaian dasarnya diterapkan beberapa rangkaian pengganda tegangan yang disusun bertingkat sesuai hasil pengembangan modifikasi yang ditunjukkan (Gambar 2.7)[5]. Besar tegangan *output* susunan n-buah jika tegangan *threshold* dioda diperhitungkan maka digunakan persamaan (2.2).

$$V_{out} = nV_{In} - V_{th} - \frac{n-1}{fc} I_{load} \quad (2.2)$$

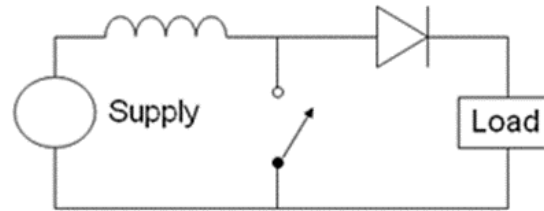


Gambar 2.6. Model Dickson Tanpa Clock 1 Stage.[5]

Jika *stage* kedua rangkaian ditambahkan setelah *stage* yang pertama, maka gelombang yang dilihat *stage* kedua hanyalah *noise* dari *stage* pertama. *Noise* ini kemudian digandakan pada rangkaian *stage* kedua dan ditambahkan pada tegangan DC hasil *stage* pertama. Oleh karena itu, secara teoritis jika jumlah *stage* pada rangkaian ditambahkan, maka akan semakin besar pula tegangan yang dihasilkan. [5]

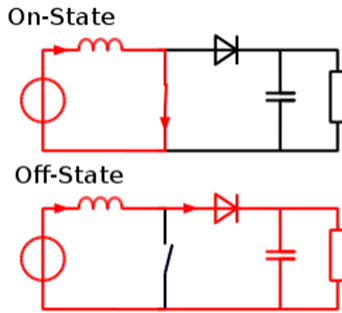
## 2.5 Perangkat Boost Converter

*Boost Converter* adalah sebuah teknik *Power supply switching Step-Up* yang merupakan konverter daya dari DC ke DC dengan tegangan *output* lebih besar dari tegangan *input*.



Gambar 2.7. Skematik dasar boost converter.[6]

Bila saklar ditutup, arus mengalir melalui induktor searah jarum jam dan induktor menyimpan energi. Polaritas dari sisi kiri induktor adalah positif. Ketika saklar di *On*, saklar S (lihat gambar 2.9) ditutup, maka akan mengakibatkan terjadinya peningkatan arus induktor. Ketika saklar dibuka, arus akan berkurang sebagai impedansi lebih tinggi. Oleh karena itu, perubahan atau pengurangan saat ini akan ditahan oleh induktor. Dengan demikian polaritas akan terbalik (berarti sisi kiri induktor akan negatif sekarang). Akibatnya dua sumber akan dalam keadaan seri menyebabkan tegangan yang lebih tinggi untuk mengisi kapasitor melalui dioda D. maka ketika saklar Off, saklar terbuka dan satu-satunya jalan yang ditawarkan untuk arus induktor adalah melalui *flyback* dioda D, kapasitor C dan beban R. Ini hasil dalam mentransfer energi yang terakumulasi selama *On* menjadi kapasitor [6]. Arus *input* sama dengan arus induktor seperti dapat dilihat pada gambar 2.10.



Gambar 2.8. Keadaan dasar 2 sistem *boost converter*. [6]

## 2.6 Perangkat Penyimpanan Energi

Perangkat penyimpanan energi yang cocok untuk aplikasi pemanen energi ini adalah baterai berjenis *Lithium Ion*. *Lithium* adalah jenis metal reaktif yang dapat menghasilkan panas berlebihan jika bereaksi dengan air atau uap air.

Baterai *lithium* bertipe *rechargeable battery*, maka baik reaksi reduksi maupun oksidasi terjadi ketika sedang diisi muatan listrik dan ketika dikosongkan/dilepaskan muatan listrik. Sebelum digunakan, baterai *lithium* biasanya terlebih dahulu di *charge*, aliran elektron dari sumber tegangan mengalir dari katoda ke anoda. Untuk kesetimbangan muatan, *ion-ion lithium* dari katoda mengalir melalui elektrolit dan separator menuju kutub anoda hingga kondisi ekuilibrium tercapai. Ketika baterai *lithium* dipakai, kondisi sebaliknya terjadi. Muatan listrik dalam bentuk elektron mengalir dari kutub anoda melalui beban ke kutub katoda. Untuk mengimbangi pergerakan ini, *ion-ion lithium* yang berasal dari kutub anoda mengalir melalui elektrolit dan menembus pori-pori separator menuju kutub katoda.

Kejadian ini terus menerus terjadi hingga seluruh muatan *ion* di katoda habis. [7]

## 2.7 Efisiensi Daya

Efisiensi daya adalah suatu perbandingan antara daya yang dihasilkan dengan daya masukan [10]. Efisiensi daya dirumuskan sebagai berikut:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \% \quad (2.3)$$

$\eta$  = Efisiensi

$P_{out}$  = Daya yang dihasilkan (watt)

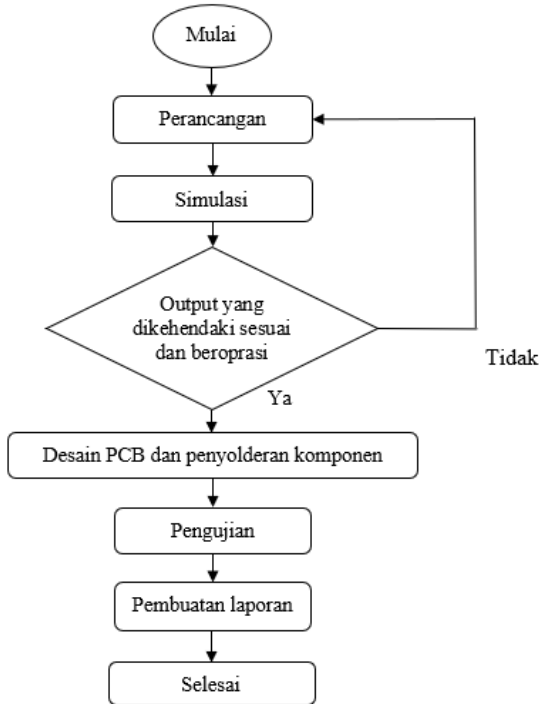
$P_{in}$  = Daya masukan (watt)

Pada rangkaian penyearah gelombang, efisiensi daya diperlukan untuk mengetahui rangkaian mana yang akan dipakai dalam pembuatan *rectifier*, juga erat kaitannya dengan jumlah tingkatan rangkaian penyearah gelombang yang digunakan.

## 3. PERANCANGAN RANGKAIAN DAN HASIL

### 3.1 Diagram Alur Perancangan Rangkaian Penyearah Gelombang 6 Tingkat

Setelah melakukan penelusuran dari beberapa referensi, pada bab ini akan dijabarkan tentang perancangan rangkaian penyearah gelombang untuk aplikasi perangkat pemanen energi pada frekuensi 900 MHz dengan menggunakan model Dickson 6 tingkat. Berikut diagram alur perancangan dan pembuatan:



Gambar 3.1. Diagram alur perancangan rangkaian penyearah gelombang 6 tingkat.

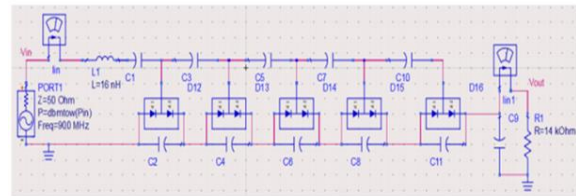
### 3.2 Desain Rangkaian

Untuk membuat desain rangkaian yang akan digunakan pada perangkat pemanen energi frekuensi radio ini, dilakukan perbandingan dari beberapa referensi yang sudah dikumpulkan.

#### 3.2.1 Penyearah Gelombang Dickson 5 Tingkat

Berdasarkan jurnal penelitian “*RF Energy Scavenging with a Wide-range Input Power Level*” telah dilakukan simulasi penyearah gelombang model Dickson 5 tingkat untuk rentang daya *input* tinggi (0 dBm hingga 30 dBm), diuji dengan menggunakan dioda HSMS-2862 dalam desain yang ditampilkan pada

gambar 3.2. menunjukkan penyearah Dickson 5 tingkat dengan pencocokan L[8].

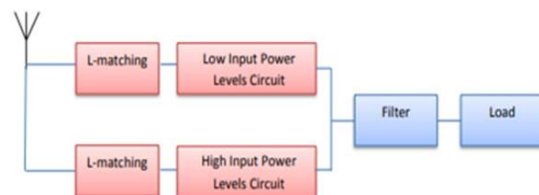


Gambar 3.2. Dickson lima tingkat dengan pencocokan L.[8]

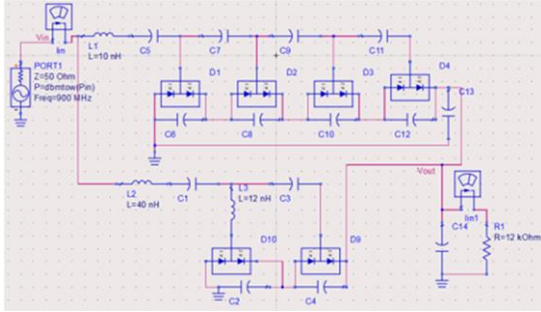
Tegangan dan arus keluaran puncak yang diperoleh untuk kisaran daya *input* tinggi berdasarkan Gambar 3.3 dan 3.4 adalah 32,78 V dan 2,34 mA pada +30 dBm.

#### 3.2.2 Penyearah Gelombang Dickson 6 Tingkat

Penyearah gelombang Dickson 6 tingkat ini adalah gabungan dari dua penyearah gelombang dengan tingkat daya *input* tinggi dan tingkat daya *input* rendah untuk mencapai berbagai tingkat daya *input*. Dioda HSMS-2852 digunakan pada tingkat daya *input* rendah sedangkan Dioda HSMS-2862 digunakan pada tingkat daya *input* tinggi.[8]



(a)



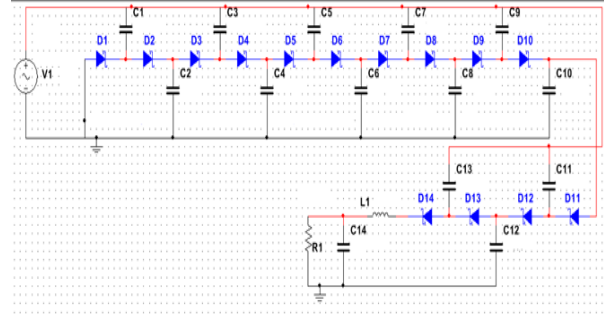
(b)

**Gambar 3.3. Desain pemanenan energi RF untuk rentang daya *input* yang luas. (a) Diagram blok. (b) Sirkuit yang dirancang.[8]**

Tegangan dan arus keluaran yang diperoleh pada -30 dBm adalah 22 mV dan 1,87 $\mu$ A dimana 16,56 V dan 1,39 mA adalah nilai puncak pada +30 dBm seperti yang di tunjukkan pada gambar.

### 3.2.3 Penyearah Gelombang Dickson 7 Tingkat

Berdasarkan jurnal penelitian “*Enhanced Dickson voltage multiplier rectenna by developing analytical model for radio frequency harvesting applications*” [10]. Telah dilakukan penelitian penyearah gelombang dengan model Dickson yang disusun tujuh tingkat dengan menggunakan dioda Schottky HSMS 285C. Rangkaian ini menghasilkan tegangan *output* 5,45 V dan arus  $1,26 \times 10^{-5}$  A dicapai pada tingkat masukan daya 10 dBm dengan menggunakan beban 10 k $\Omega$ , efisiensi daya pada rangkaian ini mencapai 37,82%.[9]



**Gambar 3.4. Rangkaian Penyearah Dickson 7 Tingkat.[9]**

### 3.3 Simulasi Rangkaian

Dari hasil studi perbandingan rangkaian penyearah gelombang model Dickson 5 tingkat, 6 tingkat, dan 7 tingkat yang telah dibahas pada 3.2 diatas, diambil kesimpulan sementara bahwa rangkaian penyearah gelombang model Dickson 6 tingkat dengan rentang daya *input* luas yang akan dipakai.

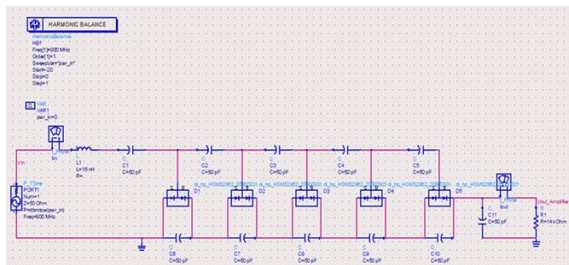
Simulasi rangkaian menggunakan bantuan program simulasi *Advanced Design System* (ADS) 2009 dan Pengontrol simulasi *Harmonic Balance* (HB) digunakan untuk proses simulasi pada penelitian ini. Sumber daya dengan 50 $\Omega$  impedansi *internal* digunakan sebagai pengganti penerima antenna. Semua simulasi disesuaikan pada pita frekuensi 900MHz. Rangkaian penyearah gelombang 5, 6, dan 7 tingkat diuji dengan tingkat daya *input* rendah menyesuaikan dengan hasil pengukuran sinyal di lingkungan kampus Universitas Sangga Buana YPKP yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya menggunakan *spectrum analyzer* didapatkan



keluaran 0.04 mW, jika dikonversikan ke dBm maka hasilnya adalah  $-13,98 \approx -14$  dBm.

### 3.3.1 Hasil Simulasi Penyearah Gelombang Dickson 5 Tingkat

Rangkaian penyearah gelombang Dickson 5 Tingkat diuji dengan tingkat daya *input* rendah menyesuaikan dengan hasil pengukuran sinyal di lingkungan kampus Universitas Sangga Buana YPKP.



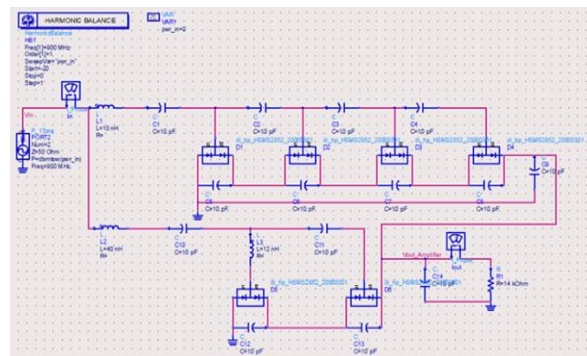
**Gambar 3.5. Rangkaian penyearah gelombang Dickson 5 tingkat.**

Pada gambar 3.8 ditampilkan rangkaian yang di simulasikan dengan program simulasi ADS 2009. Komponen pada rangkaian di samakan dengan yang tertera di referensi, akan tetapi diuji dengan tingkat daya *input* rendah (-20 s/d 0 dBm)

Dengan menggunakan dioda HSMS-2862 tegangan dan arus keluaran yang diperoleh pada -14 dBm adalah 39 mV dan 2,8  $\mu$ A, sedangkan jika rangkaian yang sama diganti dengan dioda HSMS-2852 terjadi peningkatan keluaran tegangan menjadi 280 mV, dan keluaran arus 20,03  $\mu$ A.

### 3.3.2 Hasil Simulasi Rangkaian Penyearah Gelombang Dickson 6 Tingkat

Rangkaian penyearah gelombang Dickson 6 Tingkat juga diuji dengan tingkat daya *input* rendah menyesuaikan dengan hasil pengukuran sinyal di lingkungan kampus Universitas Sangga Buana YPKP seperti yang telah dibahas pada 3.3.1.

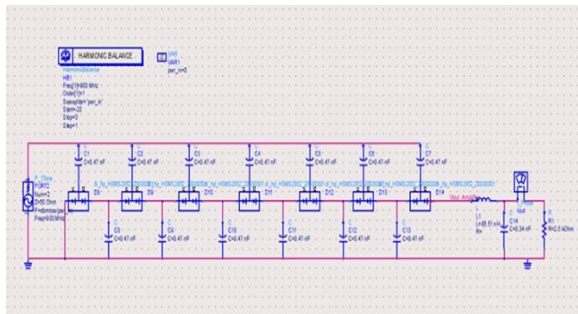


**Gambar 3.6. Rangkaian penyearah 6 tingkat dengan gabungan 2 dioda.**

Dengan menggabungkan 2 dioda dalam satu rangkaian, yakni HSMS-2852 untuk tingkat daya *input* rendah dan HSMS-2862 untuk tingkat daya *input* tinggi, keluaran tegangan dan arus yang dihasilkan pada -14 dBm adalah 342 mV dan 24,44  $\mu$ A. kemudian dilakukan simulasi hanya dengan menggunakan dioda HSMS-2852 pada -14 dBm menghasilkan 462 mV dan 33  $\mu$ A (gambar 3.13), sedangkan 251 mV dan 17,95  $\mu$ A jika hanya menggunakan dioda HSMS-2862.

### 3.3.3 Hasil Simulasi Rangkaian Penyearah Gelombang Dickson 7 Tingkat

Berdasarkan hasil dari simulasi menggunakan Dioda HSMS-2852 pada *input* -14 dBm, rangkaian penyearah gelombang model Dickson 7 tingkat yang dirancang oleh jurnal penelitian “*Enhanced Dickson voltage multiplier rectenna by developing analytical model for radio frequency harvesting applications*” [9], keluaran tegangan yang didapatkan adalah 29 mV dan arus 11,5  $\mu$ A.



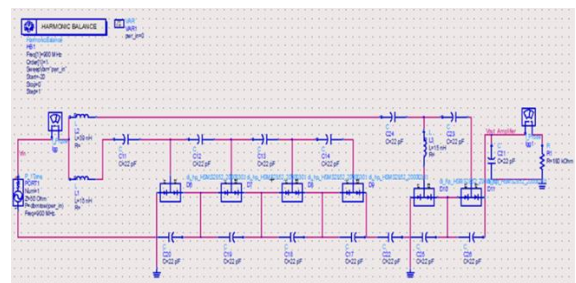
Gambar 3.7. Rangkaian penyearah gelombang 7 tingkat dengan dioda HSMS-2852

### 3.4 Perancangan Rangkaian Penyearah dan Implementasi PCB

Dari hasil simulasi yang sudah dilakukan dengan menggunakan bantuan program simulasi *Advanced Design System 2009* dari rangkaian penyearah gelombang 5, 6, dan 7 tingkat yang telah dibahas pada 3.2 didapatkan kesimpulan sementara bahwa rangkaian penyearah 6 tingkat akan dipilih untuk implementasi pada penelitian ini. Simulasi rangkaian diuji dengan menggunakan dioda HSMS-2852 dan HSMS-2852, berikut akan disajikan hasil dari simulasi rangkaian pada tabel 3.1.

Tabel 3.1. Hasil simulasi rangkaian penyearah gelombang 5, 6, dan 7 tingkat.

Penyearah Gelombang	Dioda Schottky		Output Rangkaian			
	HS MS-2852	HS MS-2862	-14 dBm		0 dBm	
			V	I	V	I
5 Tingkat	-	5 PCS	39 mV	2,8 $\mu$ A	2,52 V	179 $\mu$ A
5 Tingkat	5 PCS	-	280 mV	20,03 $\mu$ A	2,907 V	207 $\mu$ A
6 Tingkat	4 PCS	2 PCS	342 mV	24,44 $\mu$ A	3,061 V	218 $\mu$ A
6 Tingkat	6 PCS	-	462 mV	33 $\mu$ A	3,3 V	235 $\mu$ A
6 Tingkat	-	6 PCS	251 mV	17,9 $\mu$ A	3,17 V	226 $\mu$ A
7 Tingkat	7 PCS	-	29 mV	11,5 $\mu$ A	600 mV	241 $\mu$ A
7 Tingkat	-	7 PCS	1 mV	0,29 $\mu$ A	269 mV	142 $\mu$ A



Gambar 3.8. Desain rangkaian penyearah gelombang 6 tingkat.

Komponen pada desain rangkaian penyearah gelombang 6 tingkat ini dimodifikasi sesuai dengan komponen yang tersedia di pasaran. Pada rangkaian ini, dipilih induktor dengan L1 dan L3 bernilai 15 nH sedangkan 39 nH untuk L2 seperti yang ditampilkan pada gambar 3.18. Desain rangkaian ini juga telah diuji dengan beragam nilai kapasitor mulai dari 10 pF, 15 pF, 22 pF, 39 pF, dan 50 pF, serta resistor untuk beban mulai dari 14 k $\Omega$ , 50 k $\Omega$ , 100 k $\Omega$ , 150 k $\Omega$  dan 180 k $\Omega$  sehingga akan dipilih komponen mana saja yang dapat menghasilkan keluran tegangan dan arus yang dikehendaki.

**Tabel 3.2. Komponen yang dipakai pada rangkaian penyearah gelombang 6 tingkat.**

No	Nama Komponen	Nilai	Jumlah
1	Dioda Schottky HSMS-2852 SOT-23	-	6
2	Kapasitor SMD 0805	22 pF	14
3	Induktor SMD 0805	15 nH	2
4	Induktor SMD 0805	39 nH	1
5	Resistor SMD 0603	180 k $\Omega$	1

Dioda yang digunakan pada rangkaian penyearah gelombang 6 tingkat adalah dioda Schottky tipe HSMS-2852 karena tipe ini cocok untuk *low input power level* pada -14 dBm. Berikut adalah tabel parameter dioda HSMS-2852:

**Tabel 3.3. Parameter Dioda Schottky HSMS-2852 SOT-23.**

Parameter unit	HSMS-2852
VJ (V)	0,35
CJO (pF)	0,18
EG (eV)	0,69
Is (A)	3E-6
N	1.06
Rs ( $\Omega$ )	25
M	0,5
Lp (nH)	2
Cp (pF)	0,08

Dimana VJ adalah tegangan persimpangan, CJO adalah kapasitansi persimpangan pada bias nol, Is adalah arus saturasi, Ib diterapkan secara eksternal arus bias, n adalah faktor idealitas, Rs adalah resistansi seri, dan m adalah koefisien penilaian. *Agilent Avago Teknologi* menyediakan banyak jenis paket dioda. Untuk mengurangi ukuran sirkuit, HSMS-2852 Schottky dihubungkan secara seri yaitu dua dioda dalam satu paket HSMS-2852.

### 3.4.1 Efisiensi Daya

Pada poin ini akan disajikan hasil perhitungan efisiensi daya dari desain rangkaian penyearah gelombang 6 tingkat. Desain rangkaian penyearah gelombang 6 tingkat ini di modifikasi menjadi 4, 5, 7, 8, 9 dan 10 tingkat kemudian akan di simulasikan dengan *software* ADS 2009 dan dilakukan perhitungan efisiensi daya.

**Tabel 3.4. Hasil simulasi dari modifikasi desain rangkaian penyearah gelombang 6 tingkat menjadi 4, 5, 7, 8, 9, dan 10 tingkat.**

Penyearah Gelombang	Output Rangkaian			
	-14 dBm		0 dBm	
	V	I	V	I
4 Tingkat	1,05 V	5,8 $\mu$ A	6,56 V	36 $\mu$ A
5 Tingkat	0,83 V	4,6 $\mu$ A	6,22 V	34,5 $\mu$ A
6 Tingkat	1,44 V	8,023 $\mu$ A	5,98 V	33 $\mu$ A
7 Tingkat	0,18 V	1 $\mu$ A	8,71 V	48,4 $\mu$ A
8 Tingkat	0,1 V	0,57 $\mu$ A	3,78 V	21 $\mu$ A
9 Tingkat	0,02 V	150 nA	1,01 V	5,6 $\mu$ A
10 Tingkat	0,018 V	102 nA	0,758 V	4,2 $\mu$ A

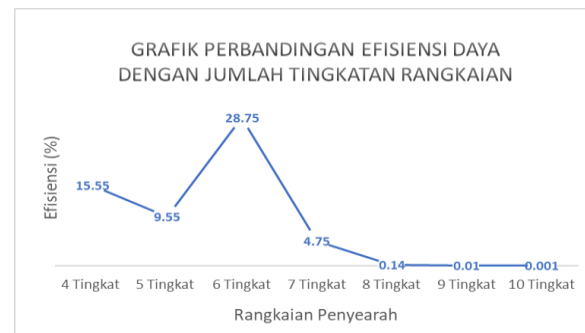
Merujuk pada persamaan perhitungan 2.3, telah dilakukan perhitungan efisiensi daya mulai dari rangkaian penyearah gelombang 4, 5, 6, 7, 8, 9 dan 10 tingkat dengan *power input* -14 dBm dan 0 dBm. Hasil perhitungan efisiensi daya akan ditampilkan pada tabel 3.5.

**Tabel 3.5. Hasil perhitungan efisiensi daya pada setiap tingkatan rangkaian penyearah gelombang.**

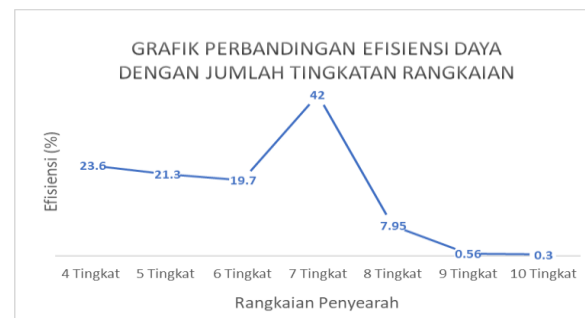
Rangkaian Penyearah Gelombang	Efisiensi Daya (%)	
	-14 dBm	0 dBm
4 Tingkat	15,55 %	23,6 %
5 Tingkat	9,55 %	21,31 %
6 Tingkat	28,75 %	19,7 %
7 Tingkat	4,75 %	42 %
8 Tingkat	0,14 %	7,95 %
9 Tingkat	0,01 %	0,56 %
10 Tingkat	0,004 %	0,3 %

Berdasarkan tabel 3.5, efisiensi daya tertinggi pada *power input* -14 dBm dihasilkan oleh rangkaian penyearah gelombang 6 tingkat dengan 28,75% efisiensi, namun pada *power input* 0 dBm efisiensi daya tertinggi dihasilkan oleh rangkaian penyearah gelombang 7 tingkat dengan 42% efisiensi akan tetapi, sehingga dipilih rangkaian penyearah gelombang 6 tingkat yang diimplementasikan pada tugas akhir ini.

Grafik perbandingan efisiensi daya dari rangkaian penyearah gelombang 4, 5, 6, 7, 8, 9 dan 10 tingkat akan ditampilkan pada gambar 3.9 dan gambar 3.10.



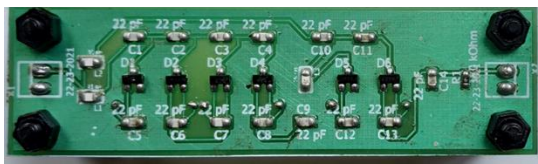
**Gambar 3.9. Grafik perbandingan efisiensi daya pada setiap tingkatan rangkaian penyearah dengan power input -14 dBm.**



**Gambar 3.10. Grafik perbandingan efisiensi daya pada setiap tingkatan rangkaian penyearah dengan power input 0 dBm.**

### 3.5 Implementasi Rangkaian

Pada bagian ini dilakukan pencetakan rangkaian penyearah gelombang 6 tingkat yang pada bab sebelumnya sudah di desain dengan menggunakan bantuan *software* Eagle versi 9.6.1. berikut akan disajikan hasil implementasi desain rangkaian yang telah di cetak dan dengan komponen yang sudah terpasang pada PCB.



(a)



(b)

**Gambar 3.11.** Rangkaian penyearah gelombang 6 tingkat dengan PCB yang sudah selesai di cetak. (a) Tampilan bagian atas PCB (b) Tampilan bagian bawah PCB

**Tabel 3.6.** Spesifikasi rangkaian PCB penyearah gelombang 6 tingkat.

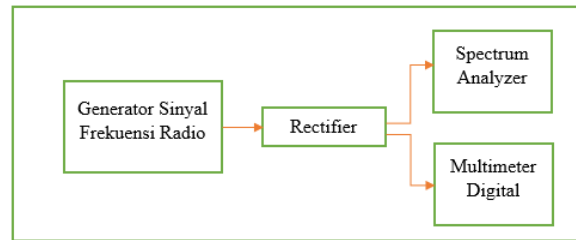
Ukuran (mm)			Material	Layer	Warna
panjang	lebar	Tebal			
79,7	22,9	1,6	FR-4	1 layer	Hijau

### 3.6 Pengujian Rangkaian

Pengujian rangkaian penyearah gelombang 6 tingkat ini diuji di Laboratorium

Telekomunikasi Radio dan Gelombang Mikro ITB. Pengukuran yang dilakukan yaitu untuk mengetahui berapa keluaran tegangan yang dihasilkan oleh rangkaian penyearah gelombang enam tingkat ini dengan beragam *input power level* dan beragam frekuensi.

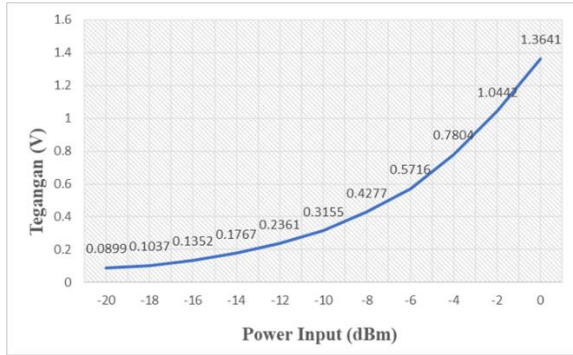
Pengujian rangkaian penyearah gelombang 6 tingkat ini dimulai dari menyiapkan generator sinyal frekuensi radio, kemudian dari generator sinyal di beri kabel *jumper* ke *rectifier*, selanjutnya di beri kabel *jumper* ke alat ukur, yaitu *multimeter digital* dan *spectrum analyzer*.



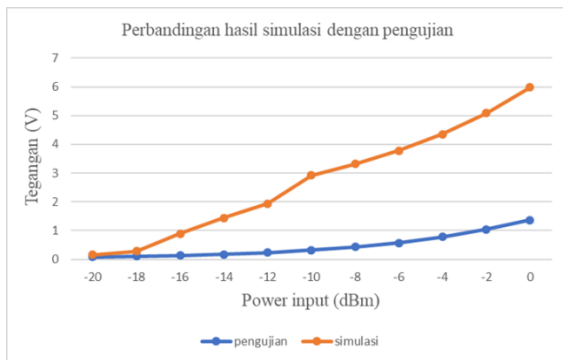
**Gambar 3.12.** Diagram skematik pengujian rangkaian penyearah gelombang 6 tingkat.

#### 3.6.1 Hasil Pengujian Rangkaian

Pada poin ini akan diuraikan hasil dari pengujian rangkaian penyearah gelombang enam tingkat dengan beragam tingkatan *power input* dan frekuensi, gambar dibawah ini adalah contoh pengujian pengukuran tegangan pada frekuensi 900 MHz dengan *power input* -20 s.d 0 dBm.



**Gambar 3.13. Pengujian pada frekuensi 900 MHz dengan power input mulai dari -20 dBm s.d 0 dBm**



**Gambar 3.14. Grafik perbandingan hasil simulasi dengan pengujian.**

**Tabel 3.7. Hasil simulasi dan pengujian pada frekuensi 900 MHz dengan power input mulai dari -20 dBm s.d 0 dBm.**

Power input (dBm)	Output Rangkaian (V)	
	Pengujian	Simulasi
-20	0.0899	0.158
-18	0.1037	0.283
-16	0.1352	0.889
-14	0.1767	1.444
-12	0.2361	1.935
-10	0.3155	2.921
-8	0.4277	3.324
-6	0.5716	3.776
-4	0.7804	4.354
-2	1.042	5.084
0	1.3641	5.984

Pada grafik perbandingan (gambar 3.14) dapat dilihat bahwa hasil pengujian dengan simulasi terdapat perbedaan. Pada saat -20 dan -18 dBm perbedaan grafik tidak terlalu jauh, namun dari -16 s.d 0 dBm perbedaan hasil simulasi dengan pengujian jauh berbeda dimana pada saat pengujian, keluaran tegangan tertinggi yang dihasilkan adalah 1,3641 volt pada 0 dBm, sedangkan pada simulasi menghasilkan 5,984 volt pada 0 dBm. Perbedaan hasil pengujian dengan simulasi ini bisa dipengaruhi oleh redaman kabel dari kabel jumper.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

##### 4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan desain dan implementasi Rangkaian Penyearah Gelombang 6 Tingkat berikut kesimpulan yang didapatkan:

1. Pada tahap ini diperoleh desain Rangkaian Penyearah Gelombang 6 Tingkat dengan komponen utama dioda Schottky HSMS-2852 dan kapasitor 22 pF.
2. Hasil simulasi Rangkaian Penyearah Gelombang 6 tingkat pada frekuensi 900 MHz dengan power input -14 dBm menghasilkan keluaran tegangan sebesar 1.444 volt dan arus 8,0234  $\mu$ A dengan 28,75 % efisiensi daya. pada frekuensi yang sama, namun dengan input 0 dBm, simulasi menghasilkan

- keluaran tegangan 5,98 volt dan arus 33  $\mu$ A dengan 19,7 % efisiensi daya.
3. Rangkaian Penyearah Gelombang 6 Tingkat yang telah di implementasikan, pada frekuensi 900 MHz dengan *power input* -14 dBm menghasilkan keluaran tegangan sebesar 0.1767 volt. Pada frekuensi yang sama, dengan *power input* 0 dBm menghasilkan keluaran tegangan sebesar 1.3641 volt.
  4. Rangkain Penyearah Gelombang 6 Tingkat ini belum bisa di aplikasikan untuk *power input* -14 dBm atau 0.04 mWatt dikarenakan hasil implementasi pengukuran tegangan yang didapatkan masih dibawah 1 volt.

#### 4.2 Saran

Dalam melakukan pengembangan mengenai topik desain dan implementasi rangkaian penyearah gelombang 6 tingkat untuk aplikasi pemanen energi frekuensi radio pada frekuensi 900 MHz ini, terdapat beberapa saran berdasarkan hasil yang didapatkan pada tugas akhir ini, yaitu:

1. Melakukan modifikasi desain rangkaian penyearah gelombang 6 tingkat dengan mencoba mengganti nilai komponen resistor dan kapasitor sesuai dengan yang sudah di simulasikan dan jelaskan oleh tabel 3.5 dan 3.6 pada bab 3.
2. Melakukan pengujian dengan perangkat yang sesuai dengan komponen frekuensi radio agar hasil pengukuran yang diperoleh lebih baik.
3. Untuk pengembangan agar bisa diaplikasikan pada sistem pemanen energi frekuensi radio, keluaran tegangan yang dihasilkan dari rangkaian penyearah gelombang 6 tingkat ini harus di tingkatkan dengan perangkat *boost converter* DC-DC mulai 1 s.d. 5 volt ke 5 volt DC.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] *Energy Harvesting*.  
[<http://repository.usu.ac.id/bitstream/handle/123456789/68527/Chapter%20II.pdf>]
- [2] Hidayat, Alfin. (2015). “Perancangan Antena *Bow-Tie* Mikrostrip Pada Frekuensi 1.6 GHz Untuk Sistem *Ground Penetrating Radar* (GPS)”. Skripsi S1 pada Universitas Darma Persada.
- [3] Tim Dosen ELKOM “Rangkaian Penyesuaian Impedansi” Telkom *University*
- [4] Dickson Kho. 2020. “Pengertian *Rectifier* (Penyearah Gelombang) dan Jenis-jenisnya”.  
<https://teknikelektronika.com/pengertian>

- [n-rectifier-penyearah-gelombang-jenis-rectifier/](#). (diakses 20 November)
- [5] Budi Herdiana, Heroe Wijayanto, dan Iswahyudi Hidayat “Rangkaian Penyearah RF ke DC Bertingkat untuk Multi Frekuensi Kerja pada Sistem Pengisian Listrik Secara Nirkabel”. Program Studi Teknik Elektro Pasca sarjana, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom Jl. Telekomunikasi No. 1 Bojongsoang Bandung, 40257.
- [6] Galang Hakim. 2016. “Teknologi *Boost Converter/Buck Converter* DC-DC”.  
<https://galanghakim.wordpress.com/2016/10/29/teknologi-boost-converter-dc-to-dc-converter-buck-converter/>. (diakses 22 Desember 2020).
- [7] Hudaya Chairul. “Mengenal Material Baterai *Lithium-Ion*”.  
<https://staff.blog.ui.ac.id/chairul.hudaya/2012/12/26/material-baterai-lithium-ion/>. (diakses 23 Desember 2020)
- [8] Kyrillos K. Selim, Shaochuan Wu, and Demyana A. Saleeb. “*RF Energy Scavenging with a Wide-range Input Power Level*”. School of Electronics and Informaion Engineering, Harbin Institute of Technology. Harbin, China.
- [9] Esraa Mousa Ali, Nor Zaihar Yahaya, Perumal Nallagownden, and Bilal Hasan Alqasem. “*Enhanced Dickson voltage multiplier rectenna by developing analytical model for radio frequency harvesting applications*” Department of Electrical and Electronic Engineering, Universiti Teknologi PETRONAS, Tronoh, Perak, Malaysia.
- [10] Wikipedia. “*Electrical Efficiency*”.  
[https://en.m.wikipedia.org/wiki/Electrical\\_efficiency](https://en.m.wikipedia.org/wiki/Electrical_efficiency). (diakses 6 April 2021)