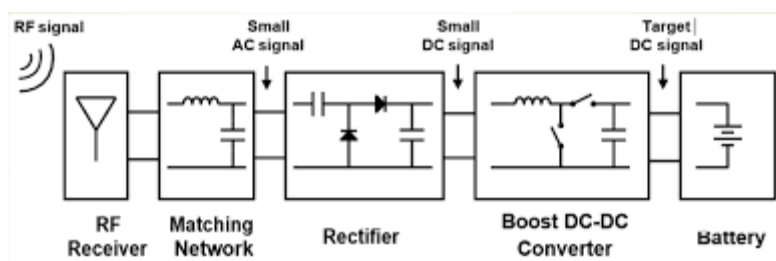

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. *Energy Harvesting*

Energy Harvesting atau Pemanen energi adalah proses dimana energi berasal dari sumber eksternal, ditangkap, dan disimpan untuk perangkat otonom nirkabel kecil, seperti yang digunakan dalam elektronik yang dapat dikenakan dan jaringan sensor nirkabel. Penuai energi memberikan jumlah daya yang sangat kecil untuk elektronik berenergi rendah. Sistem *energy harvesting* ini dapat di aplikasikan untuk catu daya bagi perangkat berkebutuhan daya rendah. Dalam aplikasinya, sistem *energy harvesting* dapat digunakan untuk menyuplai perangkat berkebutuhan daya rendah secara kontinyu dikarenakan terdapat banyak sekali sumber energi yang tersedia untuk dipanen.

Teknologi *energy harvesting* adalah teknologi yang diciptakan untuk menghasilkan tenaga listrik melalui proses pemanenan energi yang diperoleh dari lingkungan sekitar yang berupa sinyal RF yang berbentuk gelombang elektromagnetik. Energi yang tadi telah dipanen diubah menjadi energi listrik DC (*Direct Current*), Gambar 2.1 menunjukkan diagram blok dasar sistem konversi RF DC. ^{[1][1]}



Gambar 2.1. Diagram Blok Dasar dari *RF Energy Harvesting*. ^{[1][2]}

Pada *RF energy harvesting* antenna adalah kunci utama dari sistem yang berfungsi untuk menangkap radiasi energi RF, ada beberapa antenna yang mencapai



kinerja yang baik di *gain* dan *bandwidth* seperti antena *microstrip*, dipole, planar, dan antena uniplanar. ^{[1][3]}

2.2. Gelombang Elektromagnetik

Gelombang didefinisikan sebagai getaran atau gangguan yang merambat. Elektromagnetik adalah gejala listrik yang diakibatkan oleh gerak mekanik magnet. Magnet adalah benda yang dapat menghasilkan gaya tarik atau gaya tolak terhadap benda lain (yang mungkin juga bersifat magnet).

Gelombang elektromagnetik adalah gelombang yang mempunyai sifat listrik dan sifat magnet secara bersamaan. Gelombang radio merupakan bagian dari gelombang elektromagnetik pada spektrum frekuensi radio. Transmisi gelombang elektromagnetik di ruang adalah sebagai gelombang transversal. Gelombang elektromagnetik ditemukan oleh Heinrich Hertz. Gelombang dikarakteristikan oleh panjang gelombang dan frekuensi. Panjang gelombang (λ) memiliki hubungan dengan frekuensi (f) dan kecepatan (v). ^[10]

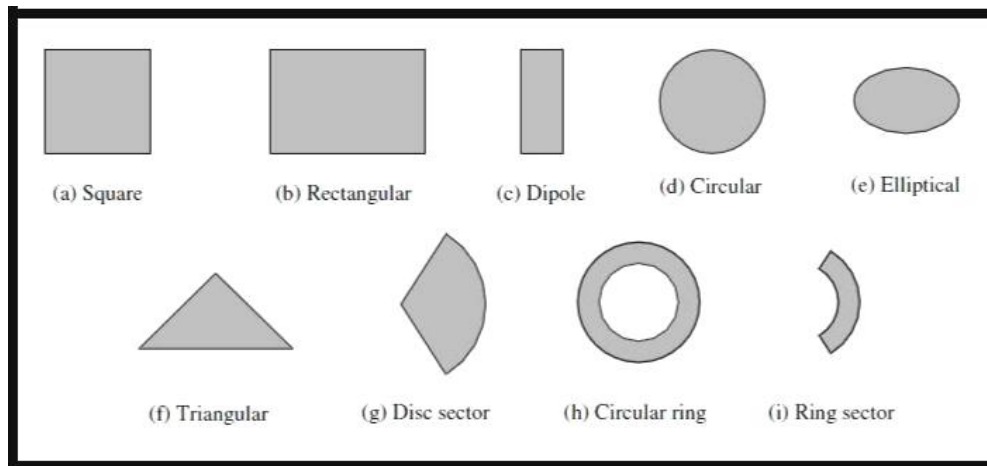
2.3 Antena *Microstrip*

Antena mikrostrip pertama kali diperkenalkan pada tahun 1950, dan perkembangannya dilakukan secara serius pada tahun 1970. Melalui beberapa dekade penelitian, diketahui bahwa kemampuan beroperasi antena mikrostrip diatur oleh bentuknya. Antena mikrostrip merupakan salah satu antena yang paling populer saat ini. Hal ini disebabkan karena antena mikrostrip sangat cocok digunakan untuk perangkat telekomunikasi yang sekarang ini memperhatikan bentuk dan ukuran.

Antena adalah suatu konduktor metal yang menempel diatas *ground plane* yang diantaranya terdapat bahan dielektrik seperti tampak pada Gambar 2.2. Antena *microstrip* merupakan antena yang memiliki massa ringan, mudah untuk difabrikasi, dengan sifatnya yang konformal sehingga dapat ditempatkan pada hampir semua jenis permukaan dan ukurannya kecil dibandingkan dengan antena jenis lain. Karena sifat yang dimilikinya, antena *microstrip* sangat sesuai



dengan kebutuhan saat ini sehingga dapat diintegrasikan dengan peralatan telekomunikasi lain yang berukuran kecil, akan tetapi antenna *microstrip* juga memiliki beberapa kekurangan yaitu: *bandwidth* yang sempit, gain dan *directivity* yang kecil, serta efisiensi rendah. ^{[7][1]}



Gambar 2.2. Jenis *Patch* Antena Mikrostrip ^{[7][2]}

Antena mikrostrip terdiri dari tiga lapisan. Lapisan tersebut adalah *Conducting patch*, substrat dielektrik, dan *ground plane*. Masing–masing lapisan ini memiliki fungsi yang berbeda

1. *Conducting Patch*

Plat konduktor ini umumnya terbuat dari tembaga. Fungsinya adalah untuk meradiasikan gelombang elektromagnetik ke udara. Plat ini terletak paling atas dari keseluruhan sistem antena. *Patch* terbuat dari bahan *rectangular*, segitiga, ataupun bentuk *circular ring*.

2. Substrat dielektrik.

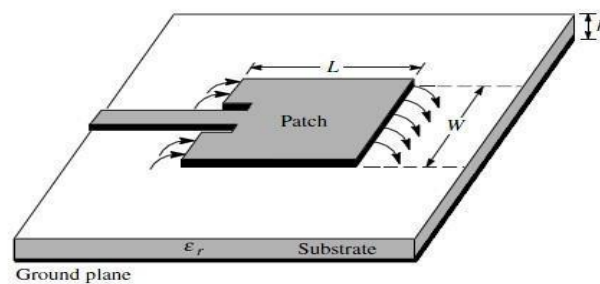
Substrat dielektrik berfungsi sebagai media penyalur GEM dari catuan. Karakteristik substrat sangat berpengaruh pada besar parameter-parameter antena. Pada antena mikrostrip, semakin tinggi besar permitivitas relatif, ukuran *conducting patch* akan semakin kecil dan sebagai akibatnya memperkecil daerah radiasi. Pengaruh ketebalan substrat dielektrik terhadap parameter antena adalah pada *bandwidth*.



Penambahan ketebalan substrat akan memperbesar *bandwidth*. tetapi berpengaruh terhadap timbulnya gelombang permukaan (*surface wave*)

3. *Ground plane*

Ground plane antenna mikrostrip bisa terbuat dari bahan konduktor, yang berfungsi sebagai *reflector* dari gelombang elektromagnetik.



Gambar 2.3. Struktur Antena Mikrostrip ^[11]

2.3.1 Parameter Umum Antena Mikrostrip

Seperti bentuk antena-antena yang lain, antena mikrostrip mempunyai parameter-parameter yang digunakan untuk dilihat *performance* yaitu :

a. Penguatan (*Gain*)

Penguatan (*G*) pada antena mikrostrip merupakan perbandingan intensitas radiasi pada arah tertentu terhadap intensitas radiasi yang diterima jika daya yang diterima berasal dari antena isotropik .

b. VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*)

VSWR merupakan perbandingan antara amplitudo gelombang berdiri (*standing wave*) maksimum ($|V_{\max}|$) dengan minimum ($|V_{\min}|$). Pada saluran transmisi ada dua komponen gelombang tegangan, yaitu tegangan yang dikirimkan (V_0^+) dan tegangan yang direfleksikan (V_0^-). Perbandingan antara tegangan yang direfleksikan dengan tegangan yang dikirimkan disebut koefisien refleksi tegangan (Γ). Dimana Z_L adalah impedansi beban (*load*) dan Z_0 adalah impedansi saluran *lossless*.



Koefisien refleksi tegangan (Γ) memiliki nilai kompleks yang merepresentasikan besarnya magnitudo dan fasa dari refleksi. Untuk dari beberapa kasus sederhana, ketika bagian imajiner dari Γ adalah nol maka :

$\Gamma = -1$: refleksi negatif maksimum ketika saluran terhubung singkat.

$\Gamma = 0$: tidak ada refleksi ketika saluran dalam keadaan *matched* sempurna.

$\Gamma = +1$: refleksi positif maksimum ketika saluran dan rangkaian terbuka.

Kondisi yang paling baik adalah ketika VSWR bernilai 1 ($S=1$) yang berarti tidak ada refleksi ketika saluran berada dalam keadaan *matching* sempurna. Namun pada kenyataannya nilai tersebut sulit didapatkan sehingga nilai dasar VSWR yang digunakan pada antena umumnya ≤ 2 .

c. Return Loss

Return loss adalah perbandingan antara gelombang amplitudo yang direfleksikan terhadap amplitudo gelombang yang dikirimkan. *Return loss* dapat terjadi akibat adanya diskontinuitas diantara saluran transmisi dengan impedansi masukan beban (antena). Pada rangkaian gelombang mikro yang memiliki diskontinuitas (*missmatched*), besarnya return loss bervariasi tergantung pada frekuensi.

Nilai *return loss* yang biasa digunakan adalah di bawah -9,54 dB, untuk menentukan lebar *bandwidth*, sehingga dapat dikatakan nilai gelombang yang direfleksikan tidak terlalu besar dibandingkan dengan gelombang yang dikirimkan atau dengan kata lain, saluran transmisi sudah *matching*. Nilai parameter ini digunakan sebagai salah satu acuan apakah antena sudah bekerja pada frekuensi yang sesuai atau tidak.

d. Impedansi Masukan

Impedansi masukan adalah perbandingan (rasio) impedansi pada bagian terminal antena atau perbandingan antara tegangan dan arus listrik pada terminal



antena. Impedansi masukan ini bervariasi untuk nilai posisi tertentu. Impedansi masukan, Z_{in} terdiri dari dua bagian real (R_{in}) dan bagian imajiner (X_{in}).

$$Z_{in} = R_{in} + X_{in} \Omega \quad (2.1)$$

Resistansi masukan (R_{in}) mewakili disipasi yang terjadi karena dua hal. Pertama karena daya yang meninggalkan antena dan tidak kembali lagi (radiasi), yang kedua karena rugi-rugi ohmic yang terkait dengan panas pada struktur antena. Namun pada banyak antena, rugi-rugi ohmic sangat kecil bila dibandingkan dengan rugi-rugi akibat radiasi.

Komponen imajiner (X_{in}) mewakili reaktansi dari antena dan daya yang tersimpan pada medan dekat antena. Kondisi matching harus sedemikian rupa sehingga mendekati $50 + j0 \Omega$.

e. *Bandwidth* Antena

Bandwidth antena adalah rentang frekuensi dimana kinerja antena yang berhubungan dengan beberapa karakteristik (seperti impedansi masukan, pola radiasi, *beamwidth*, polarisasi, *gain*, efisiensi VSWR, dan *return loss*) memenuhi spesifikasi standar. Dalam menentukan *bandwidth* antena perlu menspesifikasikan kriteria apa saja yang digunakan karena tidak ada definisi baku dalam menentukan *bandwidth*.

f. Polarisasi

Polarisasi antena adalah polarisasi dari gelombang yang ditransmisikan oleh antena. Jika arah tidak ditentukan maka polarisasi merupakan polarisasi pada arah *gain* maksimum. Pada prakteknya, polarisasi dari energi yang teradiasi bervariasi dengan arah dari tengah antena, sehingga bagian lain dari pola radiasi mempunyai polarisasi yang berbeda.

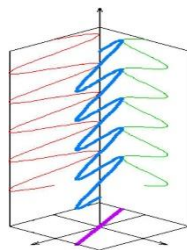
Polarisasi dari gelombang yang teradiasi didefinisikan sebagai suatu keadaan gelombang elektromagnet yang menggambarkan arah dan magnitudo



vektor medan elektrik yang bervariasi menurut waktu. Selain itu, polarisasi juga dapat didefinisikan sebagai gelombang yang diradiasikan dan diterima oleh antena pada suatu arah tertentu.

Polarisasi dapat diklasifikasikan sebagai *linear* (linier), *circular* (melingkar), atau *elliptical* (elips). Polarisasi linier terjadi jika suatu gelombang yang berubah menurut waktu pada suatu titik di ruang memiliki vektor medan elektrik (atau magnet) pada titik tersebut selalu berorientasi pada garis lurus yang sama pada setiap waktu. Hal ini dapat terjadi jika vektor (elektrik maupun magnet) memenuhi :

- a. hanya ada satu komponen, atau
- b. komponen yang saling tegak lurus secara linier yang berada pada perbedaan fasa waktu atau 180^0 atau kelipatannya



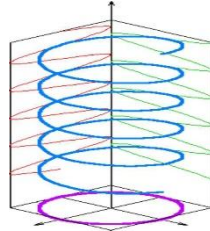
Gambar 2.4. Polarisasi Linier^{[1][1]}

Polarisasi melingkar terjadi jika suatu gelombang yang berubah menurut waktu pada suatu titik memiliki vektor medan elektrik (atau magnet) pada titik tersebut berada pada jalur lingkaran sebagai fungsi waktu. Kondisi yang harus dipenuhi untuk mencapai jenis polarisasi ini adalah :

- a. Medan harus mempunyai 2 komponen yang saling tegak lurus linier
- b. Kedua komponen tersebut harus mempunyai magnitudo yang sama
- c. Kedua komponen tersebut harus memiliki perbedaan fasa waktu pada kelipatan ganjil 90^0 .



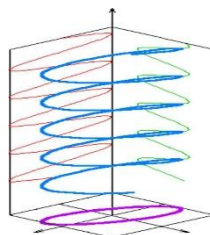
Polarisasi melingkar dibagi menjadi dua, yaitu *Left Hand Circular Polarization (LHCP)* dan *Right Hand Circular Polarization (RHCP)*. *LHCP* terjadi ketika $d = +p / 2$, sebaliknya *RHCP* terjadi ketika $d = -p / 2$



Gambar 2.5. Polarisasi Melingkar^{[11][2]}

Polarisasi elips terjadi ketika gelombang yang berubah menurut waktu memiliki vektor medan (elektrik atau magnet) berada pada jalur kedudukan elips pada ruang. Kondisi yang harus dipenuhi untuk mendapatkan polarisasi ini adalah :

- medan harus mempunyai dua komponen linier ortogonal
- Kedua komponen tersebut harus berada pada magnitudo yang sama atau berbeda
- Jika kedua komponen tersebut tidak berada pada magnitudo yang sama, perbedaan fasa waktu antara kedua komponen tersebut harus tidak bernilai 0^0 atau kelipatan 180^0 (karena akan menjadi linier). Jika kedua komponen berada pada magnitudo yang sama maka perbedaan fasa di antara kedua komponen tersebut harus tidak merupakan kelipatan ganjil dari 90^0 (karena akan menjadi lingkaran).



Gambar 2.6. Polarisasi Elips^{[11][3]}



Pada antena mikrostrip terdapat ukuran dimensi antena sebagai berikut;

a. Patch

$$Wp = \frac{c}{2f^0 \sqrt{\frac{\epsilon r + 1}{2}}} \quad (2.2)$$

Dimana nilai;

$$\epsilon ff = \frac{\epsilon r + 1}{2} + \frac{\epsilon r - 1}{2} \left[\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \frac{h}{wp}}} \right] \quad (2.3)$$

Sedangkan untuk mendapatkan nilai panjang *patch* menggunakan pendekatan persamaan berikut;

$$L_{eff} = \frac{3x \frac{10^8 m}{s}}{4.6 \times 2.002} \quad (2.3)$$

Dimana;

$$\Delta L = 0.412h \left[\frac{(\epsilon ff + 0.3) \left(\frac{w}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon ff - 0.258) \left(\frac{w}{h} + 0.8 \right)} \right] \quad (2.4)$$

maka didapat hasil untuk panjang *patch*

$$Lp = L_{eff} - 2 \Delta L$$

b. Groundplane

Untuk mendapatkan nilai lebar dan panjang *groundplane* menggunakan pendekatan persamaan berikut;

$$Lg = 6h + Lp \quad (2.5)$$

$$Wg = 6h + Wp \quad (2.6)$$



c. *Microstrip line*

Untuk mendapatkan nilai *feedline* menggunakan pendekatan persamaan berikut;

$$Lf = \frac{w}{2} \quad (2.7)$$

Dimana nilai;

$$B = \frac{60 \pi^2}{Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.8)$$

untuk nilai panjang catuannya sebagai berikut;

$$Wf = \frac{2(h)}{\pi} \left[B + 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[\ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right] \right] \quad (2.9)$$

2.4 Teknik Pencatuan Antena

Pencatuan antena merupakan hal yang sangat penting dalam pembuatan antena. Pada pencatuan akan sangat berpengaruh terhadap karakteristik-karakteristik antena yang dihasilkan. pada teknik pencatuan antena harus mempertimbangkan agar antena yang dihasilkan mengalami transfer daya maksimum. Pencatuan pada antena mikrostrip terbagi menjadi dua, yaitu^[12] :

1. Teknik pencatuan *probe coaxial*

Pada pencatuan *probe coaxial*, konduktor pada konektor *coaxial* langsung di hubungkan dengan *patch* melalui *ground plane* dan menembus substrat lalu disolder. Keuntungan dari teknik probe coaxial adalah konektor dapat diletakkan dimana saja pada *patch* untuk menghasilkan impedansi yang *match* antara saluran dan beban. Selain itu teknik ini sangat sederhana karena tidak memerlukan rangkaian penyepadan. Kekurangan dari teknik pencatuan *probe coaxial* adalah struktur antena yang menjadi tidak planar lagi dan menghasilkan *bandwidth* yang relatif sempit.



2. Teknik pencatuan mikrostrip *line*

Keuntungan dari teknik ini adalah mudah dalam pabriksi karena *feed line* dicetak pada substrat yang sama dengan *patch* antena. Yang perlu diperhatikan pada teknik pencatuan ini adalah perancangan dimensi *feed line* agar *match* dengan impedansi antena. Metode yang biasa digunakan untuk membuat *matching impedance* adalah transformator $\lambda/4$.

2.6 Konsep Dasar *Rectifier*

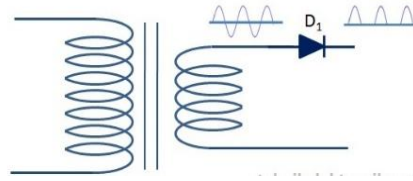
Penyearah gelombang (*rectifier*) adalah bagian dari *power supply* / catu daya yang berfungsi untuk mengubah sinyal tegangan AC (*Alternating Current*) menjadi tegangan DC (*Direct Current*). Komponen utama dalam penyearah gelombang adalah dioda yang dikonfiguarsikan secara *forward bias*. Dalam sebuah *power supply* tegangan rendah, sebelum tegangan AC tersebut di ubah menjadi tegangan DC maka tegangan AC tersebut perlu di turunkan menggunakan transformator *step down*. Ada 3 bagian utama dalam penyearah gelombang pada suatu *power supply* yaitu, penurun tegangan (transformer), penyearah gelombang / *rectifier* (dioda) dan filter (kapasitor).^{[8][1]}

2.6.1 Jenis-jenis *Rectifier*

Pada dasarnya, *Rectifier* atau Penyearah Gelombang dibagi menjadi dua jenis yaitu *Half Wave Rectifier* (Penyearah Setengah Gelombang) dan *Full Wave Rectifier* (Penyearah Gelombang Penuh).

a. *Half Wave Rectifier*

Half Wave Rectifier atau Penyearah Setengah Gelombang merupakan Penyearah yang paling sederhana karena hanya menggunakan satu buah dioda untuk menghambat sisi sinyal negatif dari gelombang AC dari *Power supply* dan melewatkan sisi sinyal positifnya.^{[9][1]}

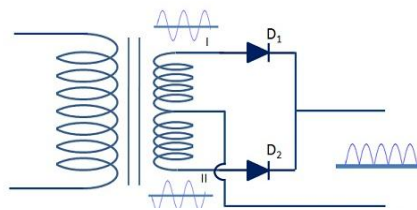
Gambar 2.7. Penyearah Setengah Gelombang^{[9][2]}

Pada prinsipnya, arus AC terdiri dari dua sisi gelombang yakni sisi positif dan sisi negatif yang bolak-balik. Sisi Positif gelombang dari arus AC yang masuk ke dioda akan menyebabkan dioda menjadi bias maju (*Forward Bias*) sehingga melewatkannya, sedangkan sisi negatif gelombang arus AC yang masuk akan menjadikan dioda dalam posisi *reverse* bias (bias terbalik) sehingga menghambat sinyal negatif tersebut.

b. Full Wave Rectifier

Terdapat dua cara untuk membentuk *full wave rectifier* atau penyearah gelombang penuh. Kedua cara tersebut tetap menggunakan dioda sebagai penyearahnya namun dengan jumlah dioda yang berbeda yaitu dengan menggunakan dua dioda. Penyearah Gelombang Penuh dengan dua dioda harus menggunakan Transformer CT sedangkan Penyearah empat dioda tidak perlu menggunakan Transformer CT, Penyearah 4 Dioda sering disebut juga dengan *Full Wave Bridge Rectifier*.

Seperti yang dikatakan diatas, Penyearah Gelombang Penuh dua dioda memerlukan Transformer khusus yang dinamakan dengan Transformer CT (*Centre Tapped*). Transformer CT memberikan *Output* (Keluaran) Tegangan yang berbeda fasa 180° melalui kedua Terminal *Output* Sekundernya. Perbedaan Fase 180° tersebut dapat dilihat seperti pada gambar dibawah ini :

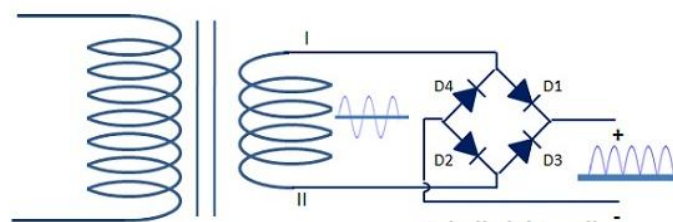
Gambar 2.8. Penyearah Gelombang Penuh^{[9][3]}



Di saat *output* Transformer CT pada terminal Pertama memberikan sinyal Positif pada D1, maka Terminal kedua pada Transformer CT akan memberikan sinyal negatif (-) yang berbeda fasa 180° dengan terminal pertama. D1 yang mendapatkan sinyal positif (+) akan berada dalam kondisi *Forward Bias* (Bias Maju) dan melewati sisi sinyal Positif (+) tersebut sedangkan D2 yang mendapatkan sinyal negatif (-) akan berada dalam kondisi *Reverse Bias* (Bias Terbalik) sehingga menghambat sisi sinyal negatifnya.

Sebaliknya, pada saat gelombang AC pada terminal pertama berubah menjadi sinyal negatif maka D1 akan berada dalam kondisi *Reverse Bias* dan menghambatnya. Terminal kedua yang berbeda fasa 180° akan berubah menjadi sinyal positif sehingga D2 berubah menjadi kondisi *forward bias* yang melewati sisi sinyal Positif tersebut.

Penyearah Gelombang Penuh dengan menggunakan empat dioda adalah jenis *Rectifier* yang paling sering digunakan dalam rangkaian *power supply* karena memberikan kinerja yang lebih baik dari jenis penyearah lainnya. Penyearah Gelombang Penuh empat dioda ini juga sering disebut dengan *Bridge Rectifier* atau Penyearah Jembatan.

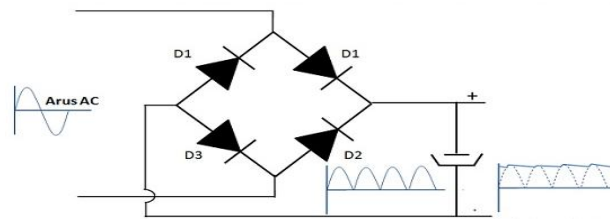


Gambar 2.9. Penyearah Gelombang Penuh 4 Dioda^{[9][4]}

Berdasarkan gambar diatas, jika Transformer mengeluarkan output sisi sinyal positif (+) maka output maka D1 dan D2 akan berada dalam kondisi *forward bias* sehingga melewati sinyal positif tersebut sedangkan D3 dan D4 akan menghambat sinyal sisi negatifnya. Kemudian pada saat output Transformer berubah menjadi sisi sinyal negatif (-) maka D3 dan D4 akan berada dalam kondisi *Forward Bias* sehingga melewati sinyal sisi Positif (+) tersebut sedangkan D1 dan D2 akan menghambat sinyal negatifnya.



Selain itu, terdapat Penyearah Gelombang yang dilengkapi dengan kapasitor merupakan penyearah yang tegangannya dihasilkan oleh *rectifier* belum benar-benar rata seperti tegangan DC pada umumnya, oleh karena itu diperlukan kapasitor yang berfungsi sebagai Filter (Penyaring) untuk menekan *ripple* yang terjadi pada proses penyearahan Gelombang AC. Kapasitor yang umum dipakai adalah Kapasitor jenis ELCO (*Electrolyte Capacitor*).



Gambar 2.10. Penyearah Gelombang Penuh dengan Filter^{[9][5]}

2.7 Schottky Diode

Dioda *Schottky* adalah tipe khusus dari diode dengan tegangan yang rendah. Ketika arus mengalir melalui dioda akan ditahan oleh hambatan internal, yang menyebabkan tegangannya menjadi kecil di terminal dioda. Dioda normal mulai bekerja jika tegangan input antara 0.7-1.7 Volt, sementara dioda *Schottky* tegangan antara 0.15-0.45 Volt sudah dapat bekerja. Selain itu bahwa frekuensi kerja yang tinggi (2.4 GHz) tidak semua dioda dapat bekerja pada daerah itu. Maka dioda yang digunakan adalah dioda yang masih linier di frekuensi tinggi.

2.8 RF To DC Efficiency

Sesuai dengan fungsinya bahwa rectenna merupakan alat yang digunakan untuk melakukan konversi dari sinyal RF (AC) menjadi DC. Artinya besar tegangan DC yang dihasilkan oleh rectenna tergantung seberapa besar *power* RF yang diterima dan efisiensi rectenna itu sendiri. Semakin besar nilai *power* RF yang diterima maka tegangan DC keluaran rectenna akan semakin besar. Begitupun dengan efisiensi, semakin besar efisiensi rectenna maka semakin besar sinyal RF yang bisa dikonversi ke DC.^{[1][4]}



Efisiensi RF ke DC menyatakan perbandingan berapa besar dari power RF yang diterima yang selanjutnya bisa menjadi DC.

$$\eta_{RF\ to\ DC} = \frac{P_{out,DC}}{P_{RF}} = \frac{V_{DC}^2}{R_{LOAD}} \frac{1}{P_{RF}} \quad (2.1)$$

Dimana: V_{DC} = Tegangan output DC

R_{LOAD} = Tegangan beban

P_{RF} = Power receive

2.9 Kapasitor

Kapasitor atau kondensator adalah komponen listrik yang memiliki kemampuan untuk menyimpan muatan listrik. Dari pengertian ini, dapat kita lihat fungsi kapasitor yakni untuk menyimpan muatan listrik. Pada prinsipnya, kapasitor terdiri atas dua permukaan konduktor yang dipisahkan oleh suatu bahan isolator sehingga kedua permukaan konduktor tersebut memiliki kemampuan untuk menyimpan muatan listrik. Pada umumnya, transistor memiliki 3 terminal, yaitu Basis (B), Emitor (E) dan Kolektor (C). Tegangan yang di satu terminalnya misalnya Emitor dapat dipakai untuk mengatur arus dan tegangan yang lebih besar daripada arus input Basis, yaitu pada keluaran tegangan dan arus output Kolektor. ada tiga jenis kapasitor yang banyak digunakan dalam rangkaian listrik, yaitu:

- Kapasitor kertas. Kertas pada kapasitor ini berfungsi sebagai penyekat di antara kedua pelat logam.
- Kapasitor variabel. Kapasitor ini digunakan dalam rangkaian penala pada pesawat radio.
- Kapasitor elektrolit (elco). Kapasitor jenis ini memiliki kapasitansi paling tinggi, yaitu sampai dengan 100.000 pF.



Gambar 2.11. Jenis-Jenis Kapasitor^[13]

Kemampuan kapasitor untuk memperoleh dan menyimpan muatan listrik disebut kapasitas kapasitor atau kapasitansi. Satuan kapasitas kapasitor adalah *farad* (F). Kapasitas suatu kapasitor didefinisikan sebagai perbandingan tetap antara muatan (q) yang tersimpan dalam kapasitor dan beda potensial antara kedua pelat konduktornya (V).

2.10. CST Studio Suite 2016

CST merupakan salah satu *software* simulasi elektromagnetik yang dapat digunakan untuk merancang serta mensimulasikan antena. CST memiliki kemampuan mengolah data yang akurat serta komputasi yang cukup efisien. CST *Studio Suite* memiliki beberapa macam modul diantaranya, modul untuk *High Frequency*, *Low Frequency*, *charged particle* dan *multiphysics applications*.^[14]

2.11. True RTA Software

True RTA Software merupakan *software* yang berfungsi untuk mengkalibrasi rectenna sebelum digunakan.

2.12. Network Cell Info Lite

Network Cell Info Lite berfungsi untuk mengetahui lokasi tower seluler terdekat yang dilihat dari *Google Maps* atau *Google Earth* serta menampilkan sinyal apa saja yang terdeteksi di suatu lokasi tertentu.



2.13. Long Term Evolution (LTE)

3GPP Long Term Evolution atau yang biasa disingkat **LTE** adalah sebuah standar komunikasi akses data nirkabel tingkat tinggi yang berbasis pada jaringan GSM/EDGE dan UMTS/HSPA. Jaringan antarmukanya tidak cocok dengan jaringan 2G dan 3G, sehingga harus dioperasikan melalui spektrum nirkabel yang terpisah. Teknologi ini mampu mengunduh sampai dengan kecepatan 300 mbps dan upload 75 mbps. Layanan LTE pertama kali dibuka oleh perusahaan Telia Sonera di Stockholm dan Oslo pada tanggal 14 Desember 2009.^[10]

3GPP Long Term Evolution, atau lebih dikenal dengan sebutan LTE dan dipasarkan dengan nama 4G LTE adalah sebuah standard komunikasi nirkabel berbasis jaringan GSM/EDGE dan UMTS/HSDPA untuk akses data kecepatan tinggi menggunakan telepon seluler mau pun perangkat *mobile* lainnya.

LTE pertama kali diluncurkan oleh TeliaSonera di Oslo dan Srockholm pada 14 Desember 2009. LTE adalah teknologi yang didaulat akan menggantikan UMTS/HSDPA. LTE diperkirakan akan menjadi standarisasi telepon seluler secara global yang pertama.

Walaupun dipasarkan sebagai teknologi 4G, LTE yang dipasarkan sekarang belum dapat disebut sebagai teknologi 4G sepenuhnya. LTE yang ditetapkan 3GPP pada *release* delapan dan sembilan belum memenuhi standarisasi organisasi ITU-R. Teknologi *LTE Advanced* yang dipastikan akan memenuhi persyaratan untuk disebut sebagai teknologi 4G.