

# STUDI TENTANG *RADIO FREQUENCY PHASE SHIFTER* PADA *SMART ANTENNA*

Dwi Purnama Sari<sup>(1)</sup>, Arman Sani<sup>(2)</sup>

Konsentrasi Teknik Telekomunikasi, Departemen Teknik Elektro  
Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (USU)  
Jl. Almamater, Kampus USU Medan 20155 INDONESIA  
e-mail: [dwipurnamasari92@gmail.com](mailto:dwipurnamasari92@gmail.com)

## Abstrak

Teknologi *smart antenna* mengalami perkembangan yang pesat. *Smart antenna* adalah sistem antena yang mengombinasikan antena *array* dengan sistem pengolahan sinyal. Pola radiasi antena *array* dapat dikendalikan dengan mengatur fasa masing-masing elemennya. *Phase shifter* merupakan pengendali fasa *smart antenna* yang banyak digunakan. Tulisan ini menganalisis kinerja *lumped element phase shifter* dan *high pass-low pass phase shifter*. Perancangan tulisan ini dilakukan menggunakan *Advance Design System (ADS)* versi 2011.10 dengan frekuensi kerja 433 MHz. Dari hasil simulasi diperoleh bahwa nilai *phase error* mendekati 0°, nilai *insertion loss* mendekati 0 dB, dan nilai *return loss* minimum pada frekuensi tengahnya. Hasil tersebut menunjukkan bahwa *phase shifter* yang dirancang dapat bekerja dengan baik pada frekuensi yang diinginkan.

**Kata Kunci:** *smart antenna, phase shifter, phase error, return loss, insertion loss*

## 1. Pendahuluan

Antena merupakan komponen yang sangat penting dalam sistem telekomunikasi radio yang mengalami perkembangan sangat pesat baik dalam bentuk maupun aplikasinya. Salah satu pengembangannya adalah *smart antenna*. Pada *smart antenna*, dapat dilakukan perkiraan arah kedatangan sinyal terhadap sinyal terima antena *array*, kemudian fasa dari sinyal yang diterima tersebut dikendalikan sehingga pola radiasi maksimumnya dapat diarahkan ke penerima yang dimaksud. Untuk dapat mengatur fasa masing-masing antena *array* dibutuhkan rangkaian penggeser fasa (*phase shifter*) sehingga pola radiasi antena dapat diubah secara elektronik tanpa harus mengubah posisinya.

## 2. *Smart Antenna* dan *Phase Shifter*

### 2.1 *Smart Antenna*

Istilah *smart antenna* umumnya mengacu kepada antena *array* yang dikombinasikan dengan sistem pengolahan sinyal. Ide utama dari pengembangan *smart antenna* adalah memaksimalkan *gain* antena ke arah yang diinginkan dan pada saat yang sama membuat polarisasi minimum ke arah sinyal yang mengganggu [1]. Dengan *smart antenna* maka pemakaian daya dalam spektrum akan semakin

amat dan terhindar dari gangguan sinyal yang lain [2].

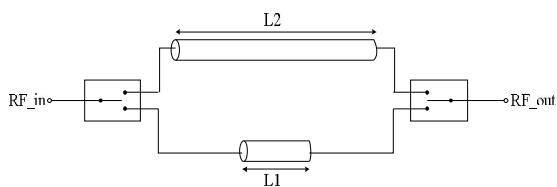
Secara umum, sistem *smart antenna* terbagi menjadi dua jenis yaitu *switched beam antenna* dan *adaptive array antenna*. Perbedaan dari kedua sistem ini terletak pada teknik yang digunakan untuk menempatkan *main lobe* pada arah yang diinginkan. *Switched beam antenna* menyeleksi pancaran mana yang memberikan kualitas sinyal terbaik berdasarkan sejumlah pola pancaran tetap yang dihasilkannya. Sedangkan *adaptive array antenna* atau antena susun adaptif akan mengarahkan *main lobe* ke arah pengguna dan secara bersamaan menempatkan *null* ke arah sumber interferensi setelah terlebih dahulu mendeteksi posisi pengguna dan sumber interferensi [3].

### 2.2 *Phase Shifter*

*Phase shifter* merupakan suatu rangkaian fungsional yang sangat penting pada sistem *smart antenna*, digunakan untuk menggeser atau menambah fasa dari sinyal yang diumpangkan ke antena [4]. Beberapa metode perancangan RF *phase shifter* yang biasa digunakan, yaitu:

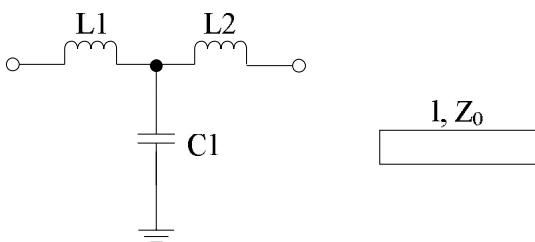
a. *Switched-Line Phase Shifter*

*Switched-line phase shifter* merupakan *phase shifter* yang memiliki konfigurasi paling sederhana. Sinyal yang melewati saluran transmisi dengan panjang tertentu akan mengalami penundaan waktu yang setara dengan pergeseran fasa sinyalnya tersebut. Saluran transmisi yang digunakan pada *switched-line phase shifter* terdiri dari saluran referensi dan saluran *delay*. Pergeseran fasa terjadi dengan men-*switch* sinyal di antar saluran referensi dan saluran *delay* yang telah ditentukan pada frekuensi tertentu seperti pada Gambar 1 [5].



**Gambar 1** Switched-Line Phase Shifter

Pada frekuensi rendah, bagian  $\frac{1}{4}$  panjang gelombang dari saluran *delay phase shifter* dapat digantikan dengan rangkaian *lumped-element* untuk meminimalkan dimensi rangkaian [6]. Konfigurasi *phase shifter* dengan komponen *lumped-element* dapat direkomendasikan untuk aplikasi dengan rentang HF (*High Frequency*) hingga UHF (*Ultra High Frequency*) seperti pada Gambar 2 [7].



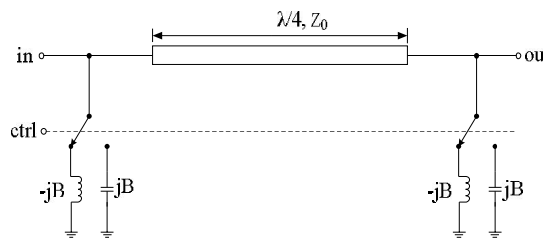
(a) *Lumped element* (b) Setara saluran transmisi

**Gambar 2** Rangkaian *Lumped Element Phase Shifter*

b. *Loaded-Line Phase Shifter*

*Loaded-line phase shifter* merupakan jenis *phase shifter* yang biasanya digunakan untuk menghasilkan pergeseran fasa  $22,5^\circ$  hingga  $45^\circ$ . Setiap bagian dari *loaded-line phase shifter* terdiri dari saluran transmisi yang pada kedua ujungnya dipasang beban reaktif secara *hunt*.

Dengan mengatur jarak beban reaktif terpisah sekitar  $\frac{1}{4} \lambda$ , maka refleksi yang dihasilkan oleh beban reaktif tersebut dapat diminimalkan [8]. Rangkaian *loaded-line phase shifter* diperlihatkan pada Gambar 3 [9].

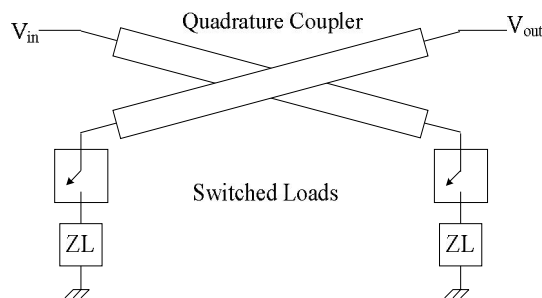


**Gambar 3** Loaded-Line Phase Shifter

Nilai pergeseran fasa yang dihasilkan bergantung pada nilai susceptansi yang dipasang di ujung saluran transmisi, jika susceptansi adalah kapasitif maka kecepatan fasa berkurang dan jika susceptansi adalah induktif maka kecepatan fasa bertambah. *Phase shifter* ini biasanya digunakan untuk pita sempit dan bisa menghasilkan fasa yang konstan terhadap frekuensi [4].

c. *Reflection Phase Shifter*

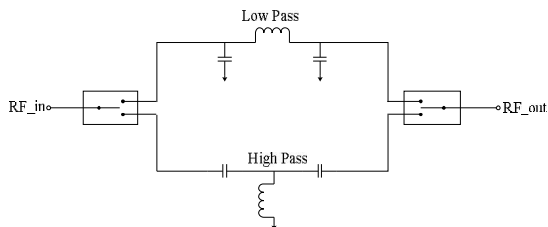
Rangkaian *reflection phase shifter* terdiri dari sebuah *quadrature coupler* dan sepasang beban reflektif sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 4 [10]. Sinyal input yang melalui *quadrature coupler* dibagi menjadi dua buah sinyal output dengan perbedaan fasa sebesar  $90^\circ$ , kemudian sinyal tersebut dipantulkan oleh sepasang beban reflektif dan bergabung dalam fasa pada keluaran *phase shifter*. Pergeseran fasa bergantung pada variasi nilai impedansi beban reflektif [10].



**Gambar 4** Reflection Phase Shifter

d. *High Pass-Low Pass Phase Shifter*

Sesuai dengan namanya, *phase shifter* ini terdiri dari dua buah filter, yaitu *high pass filter* dan *low pass filter* seperti yang diperlihatkan pada Gambar 5 [5]. *Phase shifter* ini dapat menghasilkan pergeseran fasa hingga  $180^\circ$  dan mampu menyediakan pergeseran fasa mendekati konstan dalam rentang frekuensi yang lebar [8].

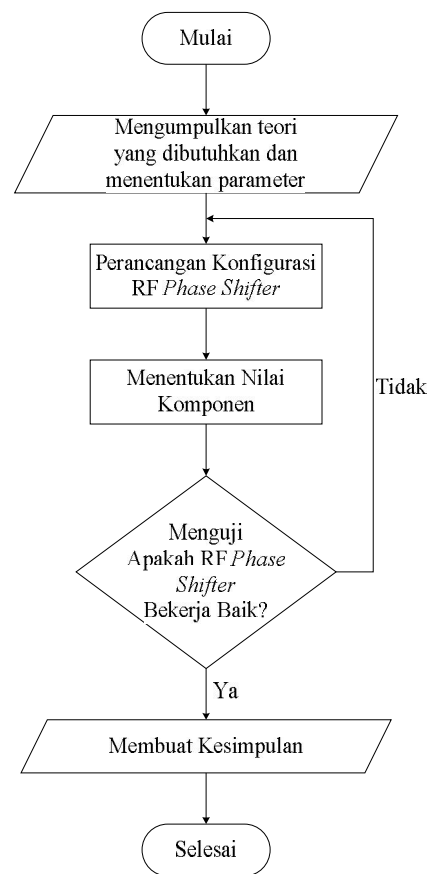


**Gambar 5** High Pass-Low Pass Phase Shifter

Pergeseran fasa disebabkan oleh perbedaan respon fasa yang terjadi pada *high pass filter* dan *low pass filter*, yang dapat diperoleh dengan men-switch antar dua rangkaian *high pass filter* dan *low pass filter*. Hasil pergeseran fasa bergantung pada nilai komponen L dan C yang terdapat pada kedua rangkaian *high pass filter* dan *low pass filter*.

**3. Perancangan RF Phase Shifter**

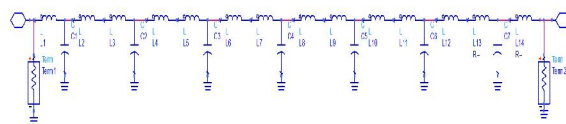
Diagram alir pada Gambar 6 menjelaskan langkah-langkah perancangan RF *phase shifter*.



**Gambar 6** Diagram Alir Perancangan RF Phase Shifter

**3.1 Konfigurasi Phase Shifter dengan Lumped Element**

*Phase shifter* dengan *lumped element* dirancang menggunakan blok-blok *lumped element* yang membentuk sebuah jaringan Tee. Rangkaian ini terdiri dari enam unit serial, dimana setiap unitnya menyediakan pergeseran fasa sebesar  $5.625^\circ$ ,  $11.25^\circ$ ,  $22.5^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ , dan  $180^\circ$  sebagaimana yang diperlihatkan pada Gambar 7.

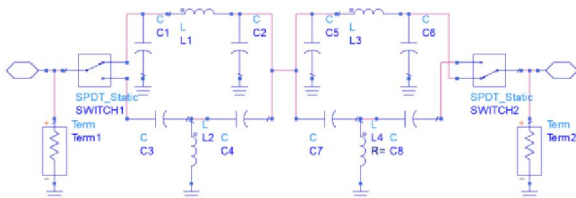


**Gambar 7** Rangkaian Lumped Element Phase Shifter 6 Bit

**3.2 Konfigurasi High Pass-Low Pass Phase Shifter 2 Bit**

Rangkaian *phase shifter* 2 bit terdridari 2 rangkaian *high pass-low pass phase shifter* yang dipasang serial,

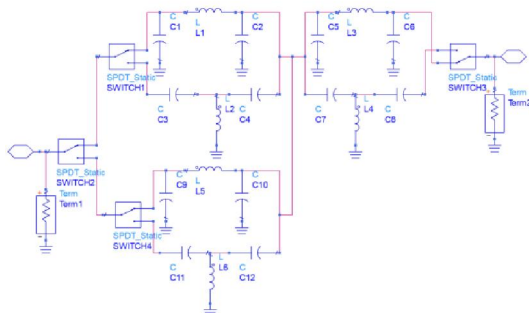
sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 8 [11]. Rangkaian pertama menyediakan pergeseran fasa dalam rentang  $+45^\circ$  hingga  $-45^\circ$  dan rangkaian kedua menyediakan pergeseran fasa dalam rentang  $+90^\circ$  hingga  $-90^\circ$ , sehingga pergeseran fasa terjadi dalam rentang  $+135^\circ$  hingga  $-135^\circ$ .



**Gambar 8** Rangkaian High Pass-Low Pass Phase Shifter

### 3.3 Konfigurasi High Pass-Low Pass Phase Shifter 3 Bit

Rangkaian ini terdiri dari 3 rangkaian high pass-low pass phase shifter, dimana rangkaian pertama dan kedua merupakan rangkaian high pass-low pass phase shifter 2 bit. Rangkaian ketiga menyediakan pergeseran fasa dalam rentang  $-1^\circ$  hingga  $+90^\circ$ , sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 9. Dengan rangkaian high pass-low pass phase shifter 3 bit, pergeseran fasa dapat terjadi dalam rentang  $0^\circ$  hingga  $+360^\circ$ .

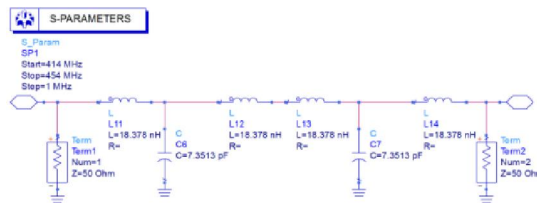


**Gambar 9** Rangkaian High Pass-Low Pass Phase Shifter 3 Bit

## 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1 Analisis Kinerja Rangkaian Phase Shifter dengan Lumped Element

Gambar 10 menampilkan rangkaian lumped element phase shifter pada keadaan 000001 yang menghasilkan pergeseran fasa sebesar  $180^\circ$ .

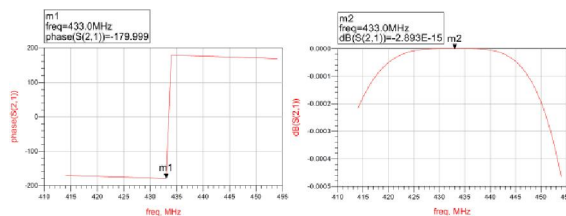


**Gambar 10** Rangkaian Lumped Element Phase Shifter Pada Keadaan 000001

Hasil simulasi rangkaian pada Gambar 10 diperlihatkan pada Gambar 11. Pergeseran fasa yang dihasilkan  $-179,999^\circ$ , *return loss*  $-207,497$  dB dan *insertion loss*  $-2,893E-15$  dB. Dengan cara yang sama, dilakukan simulasi rangkaian phase shifter dengan lumped element hingga state ke- 64. Sample hasil simulasi dari rangkaian phase shifter dengan lumped element ditunjukkan pada Tabel 1.

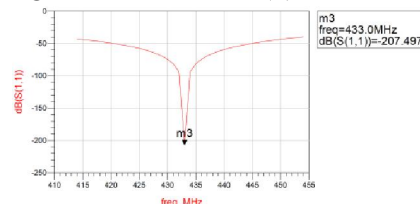
Nilai pergeseran fasa yang dihasilkan pada sebagian state sesuai dengan nilai yang diinginkan, sementara pada state lainnya terdapat phase error sebesar 0,001 dari nilai yang diinginkan. Nilai phase error yang mendekati 0 tidak berpengaruh buruk pada kinerja dari rangkaian phase shifter yang dirancang.

Nilai return loss yang dihasilkan pada setiap state memiliki nilai minimum pada frekuensi tengahnya, hal ini berarti bahwa rangkaian phase shifter yang dirancang pada frekuensi 433 MHz dapat bekerja dengan baik pada frekuensi yang diinginkan. Insertion loss yang dihasilkan pada setiap state memiliki nilai minimum pada frekuensi tengahnya, yaitu mendekati 0. Semakin kecil nilai insertion loss maka semakin kecil pula daya yang hilang akibat penyisipan di antara kedua port.



(a) Pergeseran Fasa

(b) Insertion Loss



(c) Return Loss

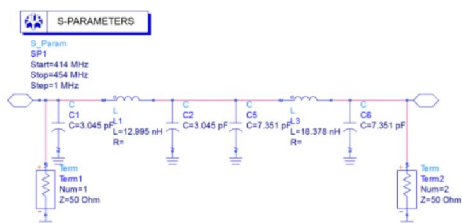
**Gambar 11** Hasil Simulasi Perancangan Rangkaian *Lumped Element Phase Shifter* Pada Keadaan 000001

**Tabel 1** Hasil Simulasi Rangkaian *Phase Shifter* dengan *Lumped Element* 6 Bit

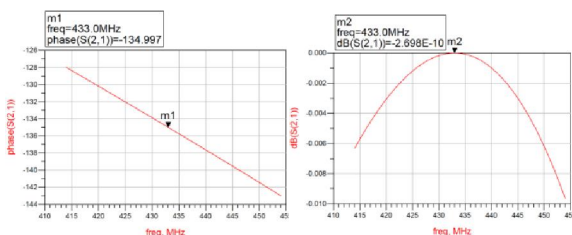
State	Phase Shift (°)	Phase Error (°)	Return Loss (dB)	Insertion Loss (dB)
111111	5,625	0	-90,205	-4,143E-9
011111	11,250	0	-90,646	-3,742E-9
001111	22,500	0	-89,873	-4,472E-9
000111	45,001	0,001	-94,802	-1,437E-9
000011	90,001	0,001	-107,111	-8,447E-11
000101	135,001	0,001	-96,592	-9,520E-10
000001	180,001	0,001	-207,497	-2,893E-15
000110	225,001	0,001	-94,802	-1,437E-9
000010	270,000	0	-107,111	-8,447E-11
000100	315,000	0	-96,592	-9,520E-10
100000	354,375	0	-99,234	-5,180E-10

4.2 Analisis Kinerja Rangkaian *High Pass-Low Pass Phase Shifter* 2 Bit

Gambar 12 menampilkan rangkaian *high pass-low pass phase shifter* pada keadaan 00. Hasil simulasi rangkaian pada Gambar 12 ditunjukkan pada Gambar 13. Pergeseran fasa yang dihasilkan  $-134,997^\circ$ , *return loss*  $-102,067$  dB dan *insertion loss*  $-2,698E-10$  dB. Dengan cara yang sama, dilakukan simulasi hingga *state* ke-4. Hasil simulasi ditunjukkan pada Tabel 2.

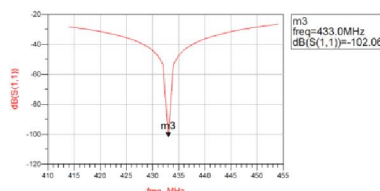


**Gambar 12** Rangkaian *High Pass-Low Pass Phase Shifter* Pada Keadaan 00



(a) Pergeseran Fasa

(b) Insertion Loss



(c) Return Loss

**Gambar 13** Hasil Simulasi Rangkaian *High Pass-Low Pass Phase Shifter* Pada Keadaan 00

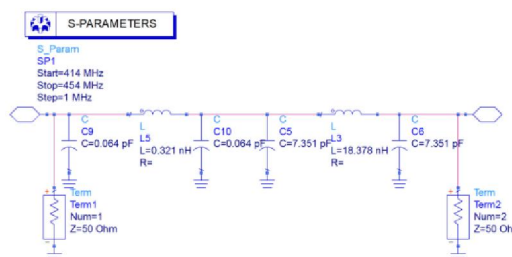
Nilai pergeseran fasa yang dihasilkan pada setiap *state* memiliki *phase error* sebesar 0,002 dan 0,003. Nilai yang sangat kecil tersebut tidak berpengaruh buruk pada kinerja dari rangkaian *phase shifter* yang dirancang. Nilai *return loss* yang dihasilkan pada setiap *state* memiliki nilai minimum pada frekuensi tengahnya dan nilai *insertion loss* mendekati 0 untuk setiap *state*. Hasil tersebut menunjukkan bahwa rangkaian *high pass-low pass phase shifter* 2 bit yang dirancang dapat bekerja dengan baik.

**Tabel 2** Hasil Simulasi Rangkaian *High Pass-Low Pass Phase Shifter* 2 Bit

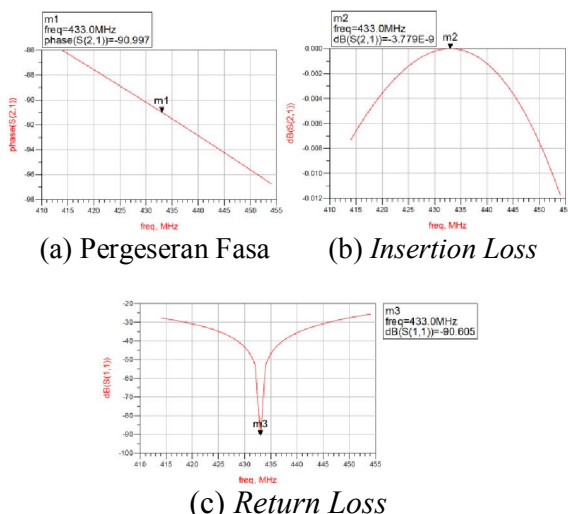
State	Phase Shift (°)	Phase Error (°)	Return Loss (dB)	Insertion Loss (dB)
00	-134,997	0,003	-102,067	-2,698E-10
01	45,003	0,003	-102,067	-2,699E-10
10	-44,998	0,002	-97,034	-8,598E-10
11	135,002	0,002	-97,033	-1,077E-9

4.3 Analisis Kinerja Rangkaian *High Pass-Low Pass Phase Shifter* 3 Bit

Gambar 14 menampilkan rangkaian *high pass-low pass phase shifter* pada keadaan 100. Hasil simulasi rangkaian pada Gambar 14 ditunjukkan pada Gambar 15. Pergeseran fasa yang dihasilkan  $-90,997^\circ$ , *return loss*  $-90,605$  dB dan *insertion loss*  $-3,779E-9$  dB. Dengan cara yang sama, dilakukan simulasi hingga *state* ke-8. Hasil simulasi ditunjukkan pada Tabel 3.



**Gambar14**RangkaianHigh Pass-Low PassPhase Shifter PadaKeadaan100



**Gambar15**HasilSimulasiRangkaianHigh Pass-Low Pass Phase Shifter PadaKeadaan100

Nilai pergeseran fasa yang dihasilkan pada setiap state memiliki phase error sebesar 0,002 hingga 0,005. Nilai yang sangat kecil tersebut tidak berpengaruh buruk terhadap kinerja dari rangkaian phase shifter yang dirancang. Nilai return loss yang dihasilkan pada setiap state memiliki nilai minimum pada frekuensi tengahnya dan nilai insertion loss yang dihasilkan pada setiap state mendekati 0 untuk setiap state. Hasil tersebut menunjukkan bahwa rangkaian high pass-low pass phase shifter 3 bit yang dirancang dapat bekerja dengan baik pada frekuensi 433 MHz.

**Tabel3** HasilSimulasiRangkaianHigh Pass-Low Pass Phase Shifter 3 Bit

State	Phase Shift (°)	Phase Error (°)	Return Loss (dB)	Insertion Loss (dB)
110	0,005	0,005	-172,990	-1,929E-15
001	45,003	0,003	-102,067	-2,699E-10
101	89,003	0,003	-90,604	-3,779E-9
011	135,002	0,002	-97,033	-1,077E-9
111	180,005	0,005	-181,527	-2,171E-10
000	225,003	0,003	-102,067	-2,698E-10
100	269,003	0,003	-90,605	-3,779E-9
010	315,002	0,002	-97,034	-8,598E-10

**5. Kesimpulan**

Dari hasilperancangan dan analisis, dapatdisimpulkanbahwa:

1. Phase shifter denganlumped element danhigh pass-low pass phase shifter yang dirancang mampu bekerja dengan baik pada frekuensi 433 MHz dengan bandwidth 40 MHz.
2. Hasil perancangan phase shifter denganlumped element merupakan perancangan yang cukup stabil dengan phase error kurang dari 0,002 untuk semua state, nilai insertion loss mendekati nol dan nilai return loss kurang dari -85 dB.
3. Perancanganhigh pass-low pass phase shifter menghasilkan nilai phase error yang sangat kecil yaitu kurang dari 0,006 untuk semua state, nilai insertion loss mendekati nol dan nilai return loss kurang dari -90 dB.
4. Phase shifter denganlumped elementmampu menggantikan saluran delay pada switched-line phase shifter yang bekerja pada frekuensi VHF.
5. Phase shifter denganlumped elementmampu menghasilkan pergeseran fasa mulai dari step terkecilnya 5,625° hingga mendekati 360° dengan tahapan pergeseran fasa sebanyak 64 state.
6. High pass-low pass phase shifter 2 bit mampu menghasilkan pergeseran fasa mulai dari step terkecilnya 45° dengan cakupan daerah pergeseran fasa dari -135° hingga 135° yang dibagi dalam 4 tahapan pergeseran fasa.
7. High pass-low pass phase shifter 3 bit mampu menghasilkan pergeseran fasa mulai dari step terkecilnya 45° hingga mendekati 360°, dimana tahapan pergeseran fasanya dibagi ke dalam 8 state.

**6. DaftarPustaka**

[1]. Nhila, “Smart Antenna”, 14 Januari 2013. [Online]. Available: [http://lembanyungsenja.blogspot.com/2013/01/smart-antenna\\_4027.html](http://lembanyungsenja.blogspot.com/2013/01/smart-antenna_4027.html). [Diakses: 30 Mei 2014].

[2]. J. C. Liberti dan T. S. Rappaport, “Smart Antennas for Wireless Communications, First Edition”. NJ: Prentice Hall PTR, 1999.

[3]. C. A. Balanis dan P. I. Ioannides, “Introduction to Smart Antennas”, Morgan & Claypool, 2007.

- [4]. Firdaus dan S. Yusnita, “Pengontrolan Polaradiasi Antena Array dengan Antena Dipole  $\frac{1}{2}$  Lambda”, *Jurnal Teknologi Informasi & Pendidikan*, vol 6, 2013.
- [5]. L. Devlin, “The Design of Integrated Switches and Phase Shifters”, 1999.
- [6]. I. Rosu, “Phase Shifters”, Qsl.net. [Online]. Available: <http://www.qsl.net/va3idul>. [Diakses: 21 Maret 2014].
- [7]. D. Jagyasi, K. Ray, S. Choudharidan S. Krishnan, “A Novel Tee Network Based Six Bit Digital Phase Shifter for ST Radar”, 2013.
- [8]. A. PC Mojo – Webs with MOJO from Cave Creek, “Phase Shifters – Microwave Encyclopedia – Microwave101.com”, *Microwave101.com*, 2012. [Online]. Available: <http://www.microwaves101.com/encyclopedia/phaseshifters.cfm>. [Diakses: 18 Maret 2014].
- [9]. I. Sarkas, “Analysis and Design of W-Band Phase Shifters”, Master of Applied Science, University of Toronto, 2010.
- [10]. Y. Yu, “Design Methods for 60 GHz in CMOS”, Proefschrift Eindhoven University of Technology, 2010.
- [11]. Y. Ganjdanesh dan S. Gatab, “2 Bit Phase Shifter in 3-8 GHz Frequency”, *Recent Researches in Circuits, Communications and Signal Processing*, 2014.