

PENGARUH MUTUAL COUPLING PADA BEAMFORMING ANTENA ARRAY

MUTUAL COUPLING EFFECT ON BEAMFORMING ARRAY ANTENNA

Naufal Widya Gaspura, Dharu Arseno, S.T., M.T.², Dr. Adya Pramudita, S.T., M.T.³

^{1,3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹naufalwidya@student.telkomuniversity.ac.id, ²darseno@telkomuniversity.ac.id,

³pramuditaadya@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Beberapa tahun belakangan ini semua orang menginginkan akses data yang lebih cepat dan lebih reliable, untuk itu 5G hadir untuk menjawab tantangan tersebut. Untuk menjawab tantangan itu, maka diperlukanlah antenna sebagai bagian dari teknologi tersebut. Antena merupakan sebuah alat elektronik yang bertujuan untuk mentransmisikan dan menerima gelombang elektromagnetik. Salah satu antena yang memiliki kegunaan yang cocok untuk menjawab tantangan di masa yang akan datang, ialah antena array.

Dalam antena susun terdapat efek bernama mutual coupling. Mutual coupling merupakan efek yang menimbulkan penurunan terhadap karakteristik parameter antena. Penurunan parameter pada antena dapat berpengaruh terhadap kualitas yang dihasilkan. Untuk itu pada penelitian ini akan dilakukan analisa pengaruh mutual coupling terhadap hasil beamforming, dimana akan dilihat pengaruh dari mutual coupling yang akan berdampak pada hasil beam yang dihasilkan. Hasil analisis yang dilakukan akan memberikan informasi tentang pengaruh kopling yang berguna untuk mendapatkan konfigurasi terbaik untuk mengoptimalkan antena di jaringan 5G.

Dalam penelitian mengenai pengaruh mutual coupling terhadap hasil dari beamforming, dapat disimpulkan bahwa efek tersebut memang berpengaruh. Efek dari mutual coupling bergantung pada jauh atau dekatnya jarak antar elemen antena. Dalam simulasi yang diatur untuk beam mengarah ke 60 derajat. Pada jarak $\frac{1}{4}$ lambda hasil beam bergeser ke arah 8 derajat. Pada jarak $\frac{1}{2}$ lambda beam bergeser ke arah 45 derajat, sedangkan pada jarak $\frac{3}{4}$ lambda pergeseran beam tidak begitu jauh atau mendekati arah yang kita inginkan, tepatnya di 64 derajat. Pada jarak lambda terdapat efek yang bernama grating lobe, efek yang menyebabkan side lobe menyerupai main lobe. Nilai dari efek mutual coupling sendiri dapat dilihat dari nilai S-Parameter.

Kata kunci : Antena, *Beamforming*, *Array*, *Mutual Coupling*, S-Parameter.

Abstract

In recent years all individuals want to access a data that more faster and more reliable, for these needs 5G comes to answer those challenges. To answer this challenge, an antenna is needed as part of that technology. Antenna is an electronic device that aims to transmit and receive electromagnetic waves. One antenna that has a suitable use to answer the challenges in the future, is an antenna array.

Array antenna has an effect named mutual coupling. Mutual coupling is an effect that generate antenna parameter characteristic. Reduction of the parameter from the antenna could take an effect towards the quality that already produced. For that concerns, this research we're analyze an effect from mutual coupling towards beamforming results, where we can see the effects it self from mutual coupling towards the result of the beam that will be produced. Outcome from this analysis will give an information towards coupling effects that usefull to get the bet configuration to optimize antenna in 5G areas.

In the research on the effect of mutual coupling on the results of beamforming, it can be concluded that the effect is indeed influential. The effect of mutual coupling depends on the distance or distance between the antenna elements. In the simulation the beam is set to 60 degrees. At a distance of $\frac{1}{4}$ lambda the beam results shift towards 8 degrees. At $\frac{1}{2}$ lambda distance the beam shifts towards 45 degrees, while at a distance of $\frac{3}{4}$ lambda the beam shift is not so far or close to the direction we want, precisely at 64 degrees. At the lambda distance there is an effect called grating lobe, an effect that causes the side lobe to resemble a play lobe. The value of the mutual coupling effect itself can be seen from the S-Parameter value.

Keywords: Antenna, *Beamforming*, *Mutual Coupling*, *Array*, S-Parameter.

1. Pendahuluan

Beberapa tahun belakangan ini semua orang menginginkan akses data yang lebih cepat dan lebih *reliable*, maka dari itu 5G hadir untuk menjawab semua tantangan tersebut. Untuk menjawab tantangan itu, maka diperlukanlah antena sebagai bagian dari teknologi tersebut. Antena merupakan sebuah alat elektronik yang bertujuan untuk mentransmisikan dan menerima gelombang elektromagnetik[1]. Terdapat berbagai jenis antena yang ada, salah satu jenis antena yang bisa digunakan untuk menjawab tantangan tersebut adalah antena *array*.

Pada penelitian sebelumnya yang berjudul Analisa Pengaruh *Mutual Coupling* Terhadap Susunan Dua Antena Mikrostrip Segitiga Sama Sisi Dengan Frekuensi Resonansi Yang Berbeda (1.5 GHz dan 1.7 GHz)[2], dikatakan *mutual coupling* dapat memberi efek yang mengakibatkan penurunan kualitas parameter. Penurunan kualitas parameter dikarenakan adanya interferensi elektromagnetik dari dua antena atau lebih yang jaraknya berdekatan. Efek *mutual coupling* dapat menyebabkan perubahan parameter antena baik *gain*, *return loss*, dan pola radiasi yang diinginkan[3].

Untuk itu pada penelitian kali ini kita akan menganalisa pengaruh *mutual coupling* pada hasil *beamforming*. *Beamforming* sendiri bertujuan untuk mengatur efisiensi kerja dalam penggunaan spektrum dan juga dalam pengiriman data ke pengguna[4]. Hal ini dikarenakan konsep *beamforming* yang memiliki kegunaan untuk memfokuskan sinyal ke area tertentu yang terdapat pengguna di dalamnya. Hal ini berguna dikarenakan sifat sinyal *cellular* yang dengan mudah terhalang oleh objek-objek tertentu yang akan mengakibatkan terjadinya pelemahan sinyal akibat jarak yang jauh.

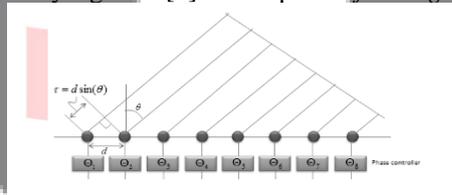
2. Dasar Teori

2.1 Antena

Antena menurut kamus Webster adalah “A usually metallic device (as rod on a wire) for radiating or receiving radio waves”. Definisi standar persyaratan IEEE untuk antena (IEEE std145-1983) mendefinisikan antena sebagai “Sarana untuk memancarkan atau menerima gelombang radio”. Antena bertujuan untuk mengirimkan dan menerima gelombang elektromagnetik dalam sistem komunikasi [1].

2.2 Beamforming

Beamforming adalah pembentukan pola pancar antena yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan user. *Beamforming* memiliki fungsi untuk dapat memfokuskan sinyal. *Beamforming* merupakan salah satu jenis manajemen frekuensi radio dimana jalur aksesnya menggunakan beberapa antena untuk mengirimkan pola radiasi yang sama[6]. Konsep *beamforming* dapat dilihat di Gambar (1).



Gambar 1. Konsep *Beamforming*

Dengan referensi 1 elemen, maka untuk susunan antena isotropis adalah :

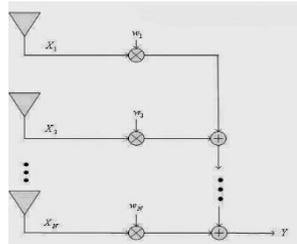
$$E_{Total} = 1 + e^{j\varphi} + e^{2j\varphi} + e^{3j\varphi} + \dots + e^{j(n-1)\varphi} \quad (1)$$

$$E_{Total} = \sum_{n=1}^n e^{j\varphi(n-1)}$$

Dimana : $n = (1,2,3,\dots,n)$, n adalah bilangan bulat.

2.3 Antena Array

Antena *array* adalah antena yang terdiri dari beberapa elemen yang saling berhubungan dan diatur dalam struktur yang teratur[7]. Tujuan dari di buatnya sebuah antena *array* adalah untuk menghasilkan pola radiasi yang memiliki karakteristik tertentu yang diinginkan dengan beberapa elemen menjadi satu. Antenanya sendiri bisa terdiri dari 2 (dua), atau bahkan ribuan (seperti yang di gunakan oleh angkatan udara). Secara umum, kinerja dari antena ini meningkat sesuai jumlah elemen yang kita buat dalam *array*. Ilustrasi anten *array* dapat dilihat pada Gambar (2).



Gambar 2. Ilustrasi Antena Array

Dari Gambar (2), maka nilai keluaran antena dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$Y = \sum_{n=1}^N w_n X_n \quad (2)$$

Dimana : $N = (1,2,3,...n)$, N adalah bilangan bulat.

Antena array bertujuan untuk:

1. Meningkatkan keseluruhan *gain*,
2. “Mengarahkan” array sehingga menemukan arah paling tepat,

Jika elemen antena memiliki pola radiasi E_{elemen} , maka pola radiasi tersebut akan bernilai :

$$E_{total} = E_{elemen} + E_{SusunanIsotropis} \quad (3)$$

2.4 Mutual Coupling

Mutual coupling adalah efek yang mengakibatkan perubahan parameter pada antena, seperti impedansi terminal, *gain*, koefisien pantul dan karakteristik pola radiasi di antena array[7]. *Mutual coupling* juga dapat dikatakan suatu fenomena yang terjadi pada antena array dimana energi dari satu antena menuju antena lain sehingga mempengaruhi performa antena[8]. *Mutual coupling* ini dapat merubah besaran arus, fase dan distribusi pada tiap elemen sehingga pola radiasi keseluruhan antena berbeda dibandingkan yang tidak mengalami *coupling*. Bila jarak antar elemen semakin berdekatan, efek *mutual coupling* akan semakin meningkat.

Besar kecilnya dampak *mutual coupling* terhadap performansi antena susun bergantung pada:

- a. Jenis antena dan parameter desain-nya seperti impedansi elemen dan koefisien refleksi.
- b. Letak posisi elemen pada antena susun-nya.
- c. Pencatu dari antena susun.

3. Pembahasan

3.1 Perancangan Dimensi Antena

Dalam merancang antena array, diperlukan spesifikasi agar antena dapat melihat efek *mutual coupling*. Untuk memenuhi spesifikasi tersebut, penulis menggunakan antena mikrostrip dengan tipe *patch* yaitu *rectangular*. Penulis menggunakan frekuensi 3,5 GHz , Substrat FR-4, dan tebal konduktor 0,035 mm.

Perancangan antena array dengan menggunakan 8 (delapan) elemen antena mikrostrip, bertujuan untuk melihat pengaruh dari *mutual coupling* yang akan terlihat pada *beam* yang dihasilkan.

Dalam Perancangan antena yang dapat melihat hasil *beam* dan menemukan efek *mutual coupling* maka, penulis merancang antena menggunakan *tools* simulasi numerik elektromagnetik. Penulis membuat antena mikrostrip dengan desain *patch* berbentuk *rectangular* dengan tipe catuan *microstripline*.

3.1.2 Perancangan Rectangular Patch

Dalam perancangan penulis menggunakan spesifikasi sebagai berikut :

- Jumlah Elemen : 8
- Frekuensi : 3,5 GHz
- Substrat FR-4 : 1,6 mm
- Konstanta Dielektrik : 4,3
- Tebal Konduktor : 0,035

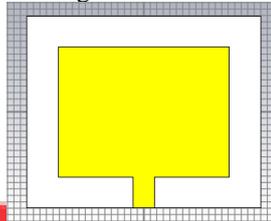
Dari spesifikasi di atas, maka penulis dapat mendapatkan dimensi antena yang akan di rancang. Berikut merupakan hasil perhitungan dimensi sesuai spesifikasi yang dibutuhkan. Parameter tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Perancangan Antena Mikrostrip 3.5 GHz

keterangan	Nilai	Simbol
Tebal Dielektrik	1,6 mm	H
Tebal Konduktor	0,035 mm	T
Panjang <i>Feed</i>	11,86 mm	LF

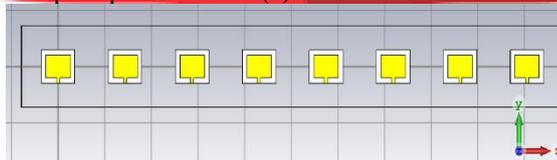
Lebar <i>Feed</i>	3,2637 mm	WF
Panjang <i>Patch</i>	20,2172 mm	LP
Lebar <i>Patch</i>	26,33 mm	WP
Panjang <i>Groundplan</i>	29,8172	LG
Lebar <i>Groundplan</i>	35,93	WG

Dengan memasukkan parameter di Tabel 1 , penulis melakukan perancangan dengan bantuan *tools* simulasi numerik elektromagnetik dan menghasilkan desain antenna seperti Gambar (3).



Gambar 3. Desain Antena Mikrostrip

Dari Gambar (3.), maka penulis melakukan pengolahan dari desain antenna tersebut dan membuatnya berjumlah 8 (delapan), agar digunakan sebagai antenna yang dapat melakukan simulasi untuk melihat efek *mutual coupling*. Sesuai dengan spesifikasi antenna yang disebutkan di atas, maka penulis membuat desain seperti pada Gambar (4).

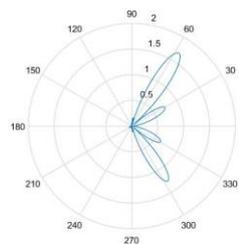


Gambar 4. Desain Antena Array 8 Elemen

4. Hasil dan Analisis

4.1 Hasil Dan Analisis Simulasi Antena

Dari hasil simulasi yang dilakukan dengan bantuan MATLAB dan *tools* simulasi numerik elektromagnetik. Untuk melihat efek dari *mutual coupling* terhadap pengaruh pada *beamforming*, penulis melakukan penyetelan untuk arah *beam* sebesar 60 derajat. Penulis melakukan pengecekan hasil *beamforming* pada antenna 1 (satu) elemen yang belum memiliki *coupling* sebagai bahan validasi. Hasil dari antenna yang belum memiliki *coupling* dapat dilihat pada Gambar (5).

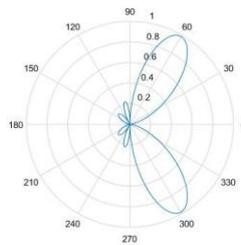


Gambar 5. Hasil *Beamforming* Antena 1 Elemen Tanpa *Coupling*

Penulis melakukan beberapa simulasi dengan jarak yang berbeda-beda, diantara lain adalah sebagai berikut :

1. Jarak antar elemen antenna $\frac{1}{4}$ lambda.

Pada jarak ini penulis melakukan percobaan dengan menggunakan jarak antar elemen antenna, yaitu $\frac{1}{4}$ lambda. Penulis melakukan pengecekan untuk hasil *beamforming* pada antenna isotropis dengan jarak tersebut. Hasilnya akan terlihat seperti pada Gambar (6).



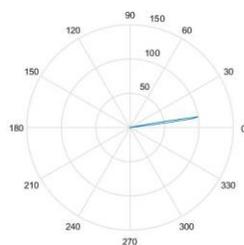
Gambar 6. Hasil *Beamforming* Antena Isotropis Jarak 1/4 Lambda

Dari hasil simulasi di MATLAB akan mendapat nilai amplitudo dan *phase shifter* yang digunakan sebagai nilai bobot untuk 8 (delapan) elemen antena dengan jarak 1/4 lambda yang akan disimulasikan menggunakan *tools* simulasi numerik elektromagnetik.

Tabel 2. Nilai Amplitudo dan *Phase Shifter* Untuk Jarak 1/4 Lambda

Elemen ke-	Amplitudo	<i>Phase Shifter</i> (dalam derajat)
1	0,1230	0
2	0,1230	-45
3	0,1230	-90
4	0,1230	-135
5	0,1230	180
6	0,1230	135
7	0,1230	90
8	0,1230	45

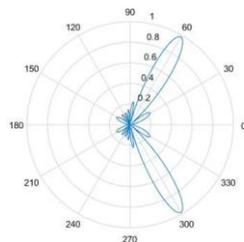
Dalam hal ini, penulis menggunakan data di Tabel 2. sebagai bobot yang akan digunakan untuk melakukan simulasi di *tools* simulasi numerik elektromagnetik. Hasil dari efek *mutual coupling* pada *beamforming* akan terlihat seperti pada Gambar (7). Pada gambar tersebut menandakan terjadinya efek *mutual coupling* yang sangat berpengaruh pada *beam* yang dihasilkan.



Gambar 7. Hasil *Beamforming* Antena 8 Elemen Jarak 1/4 Lambda

2. Jarak antar elemen antena 1/2 lambda.

Pada jarak ini penulis melakukan percobaan dengan menggunakan jarak antar elemen antena, yaitu 1/2 lambda. Penulis melakukan pengecekan untuk hasil *beamforming* pada antena isotropis dengan jarak tersebut. Hasilnya akan terlihat seperti pada Gambar (8).



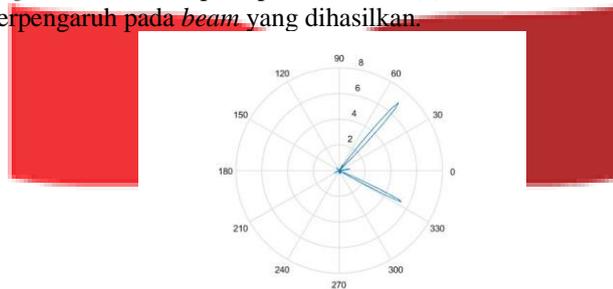
Gambar 8. Hasil *Beamforming* Antena Isotropis Jarak 1/2 Lambda

Seperti pada percobaan pertama, kali ini penulis juga menggunakan amplitudo dan *phase shifter* yang akan diperlukan sebagai nilai bobot di antena 8 elemen untuk melihat efek dari nilai *mutual coupling*.

Tabel 3. Nilai Amplitudo dan *Phase Shifter* Untuk Jarak 1/2 Lambda

Elemen ke-	Amplitudo	<i>Phase Shifter</i> (dalam derajat)
1	0,1230	0
2	0,1230	-90
3	0,1230	180
4	0,1230	90
5	0,1230	0
6	0,1230	-90
7	0,1230	180
8	0,1230	90

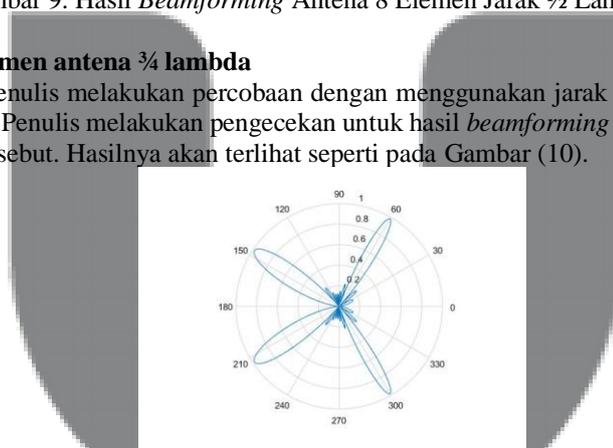
Dalam hal ini, penulis menggunakan data di Tabel 3. sebagai bobot yang akan digunakan untuk melakukan simulasi di *tools* simulasi numerik elektromagnetik. Hasil dari efek *mutual coupling* pada *beamforming* akan terlihat seperti pada Gambar (9) menandakan terjadinya efek *mutual coupling* yang berpengaruh pada *beam* yang dihasilkan.



Gambar 9. Hasil *Beamforming* Antena 8 Elemen Jarak 1/2 Lambda

3. Jarak antar elemen antena 3/4 lambda

Pada jarak ini penulis melakukan percobaan dengan menggunakan jarak antar elemen antena, yaitu 3/4 lambda. Penulis melakukan pengecekan untuk hasil *beamforming* pada antena isotropis dengan jarak tersebut. Hasilnya akan terlihat seperti pada Gambar (10).



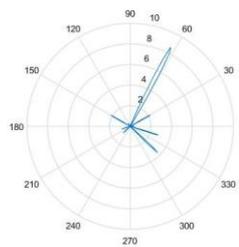
Gambar 10. Hasil *Beamforming* Antena Isotropis Jarak 3/4 Lambda

Pada percobaan ke-tiga ini, penulis mendapatkan nilai amplitudo dan *phase shifter* yang berbeda yang diperlukan sebagai nilai bobot pada *tools* simulasi numerik elektromagnetik.

Tabel 4. Nilai Amplitudo dan *Phase Shifter* Untuk Jarak 3/4 Lambda

Elemen ke-	Amplitudo	<i>Phase Shifter</i> (dalam derajat)
1	0,1230	0
2	0,1230	-135
3	0,1230	90
4	0,1230	-45
5	0,1230	180
6	0,1230	45
7	0,1230	-90
8	0,1230	135

Nilai pada Tabel 4. digunakan untuk nilai bobot pada *tools* simulasi numerik elektromagnetik. Pada percobaan ke-tiga ini, arah *beam* yang mendekati arah yang penulis setel pada awal percobaan (60 derajat). Hasilnya dapat kita lihat pada Gambar (11).



Gambar 11. Hasil *Beamforming* Antena 8 Elemen Jarak $\frac{3}{4}$ Lambda

4. Jarak antar elemen antena lambda

Pada percobaan terakhir ini, penulis melakukan pengecekan dengan jarak lambda. Sama seperti pada percobaan sebelumnya disini penulis melakukan pengecekan pada hasil *beam* di antena isotropis dengan jarak tersebut. Hasilnya pun dapat dilihat pada Gambar (12).



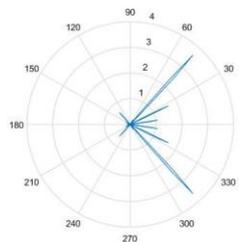
Gambar 12. Hasil *Beamforming* Antena Isotropis Jarak Lambda

Pada percobaan terakhir, penulis juga melakukan pengecekan pada nilai amplitudo dan *phase shifter* yang dihasilkan dari jarak lambda. Terlihat di Tabel 5.

Tabel 5. Nilai Amplitudo dan *Phase Shifter* Untuk Jarak Lambda

Elemen ke-	Amplitudo	<i>Phase Shifter</i> (dalam derajat)
1	0,1230	0
2	0,1230	180
3	0,1230	0
4	0,1230	180
5	0,1230	0
6	0,1230	180
7	0,1230	0
8	0,1230	180

Seperti pada percobaan sebelumnya, nilai pada Tabel 5. akan digunakan untuk nilai bobot, yang berguna di 8 elemen antena dengan jarak lambda pada *tools* simulasi numerik elektromagnetik. Pada saat jarak lambda hasil *beam*-nya dapat dilihat pada Gambar (13).



Gambar 13. Hasil *Beamforming* Antena 8 Elemen Jarak Lambda

Dilihat pada Gambar (10) dan (12) di antena isotropis yang disetel 60 derajat terdapat *beam* lain yang terbentuk. Ini dinamakan *Grating Lobe*, yaitu *side lobe* yang akan menyerupai *main lobe*. Itu terjadi karena efek dimana perubahan jarak antar antena menjadi jauh[10].

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari percobaan simulasi efek *mutual coupling* terhadap hasil *beamforming* di antena *array* dengan elemen berjumlah 8 (delapan), maka penulis mendapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Efek *mutual coupling* mengakibatkan pergeseran ataupun perubahan arah dari *beam* antena yang sudah kita atur *pattern*-nya. Pergeseran arah *beam* bergantung juga kepada nilai dari efek *mutual coupling* itu sendiri.
2. Semakin jauh jarak antar elemen antena, maka semakin kecil juga nilai dari efek *mutual coupling*. Begitu juga sebaliknya, semakin dekat jarak antar elemen antena, maka nilai dari *mutual coupling* akan semakin besar.
3. Jumlah elemen antena *array* berpengaruh terhadap hasil *beamforming*. Semakin banyak jumlah elemen antena maka akan semakin fokus *beam* yang dihasilkan.
4. Parameter S digunakan untuk melihat nilai dari efek *coupling*, baik antara antena itu sendiri maupun antar antena yang lain.
5. Jarak antar elemen antena akan berpengaruh terhadap nilai *phase shifter*.

5.2 Saran

Dengan tujuan untuk dapat melihat hasil yang lebih banyak lagi dalam percobaan untuk mengetahui efek dari *mutual coupling* terhadap hasil *beamforming*, maka penulis memiliki beberapa saran yang dapat dijadikan acuan, antara lain :

1. Pengujian yang dilakukan dalam Tugas Akhir ini perlu diadakan validasi dengan sistem yang diimplementasikan.
2. Dari Tugas Akhir ini kedepannya, dapat melakukan pengujian lain dengan menggunakan *multibeam*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L.Stutzman, G.Thiele, "Antenna Theory and Design", 3rd ed. Arizona: A JOHN WILLEY,INC,2012.
- [2] R. Gilang, B. Sumajudin, Y. Wahyu,"Analisa Pengaruh Mutual Coupling Terhadap Susunan Dua Antena Mikrostrip Segitiga Sama Sisi Dengan Frekuensi Resonansi Yang Berbeda (1.5 GHz dan 1.7 GHz)",Universitas Telkom,Bandung,2012.
- [3] M. Ali, P. Wahid,"*Analysis of Mutual Coupling Effect in Adaptive Array Antennas*",Antennas and Propagation Society International Symposium,2002.
- [4] A. Nodrum, K. Clark,"5G Bytes: Beamforming Explained",IEEE,2017.
- [5] J. Krauss,"Antennas", 3rd ed. Singapore: McGraw-Hill Education,2001.
- [6] Chaipanya, P., Uthansakul, P. & Uthansakul, M. (2011). *Reduction of Inter-Cell Interference Using Vertical Beamforming Scheme for Fractional Frequency Reuse Technique*. Nakhon Ratcahsima: Proceedings of the Asia-Pacific Microwave Conference.
- [7] C.a. Balanis, "Antenna Theory: Analysis and Design", 3rd ed. Arizona: A JOHN WILLEY & SONS, INC,2012.
- [8] H.Singh, H.L.Sneha, R.M.Jha,"*Mutual Coupling in Phased Arrays*",CSIR-National Aerospace Laboratories,India,2013.
- [9] H. Werfelli, K. Tayari, M. Chaoui,"*Design of Rectangular Microstrip Patch Antenna*", 2nd International Conferencee ATSIP,Tunisia,2016.
- [10] F. Joseph, W. Shi Chang, " *Phased Array Element Shapes for Suppressing Grating Lobes*",Massachusetts Institute of Technology,Cambridge,US,2001.