TUGAS AKHIR – EE 184801

RANCANG BANGUN *POWER DIVIDER* 1 *TO* 4 DENGAN METODE *BRANCH LINE COUPLER* UNTUK APLIKASI SISTEM BTS 5G

Firman Angga Saputra
NRP 07111540000035

Dosen Pembimbing
Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D

DEPATERMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

Lembar ini sengaja dikosongkan

TUGAS AKHIR – EE 184801

RANCANG BANGUN *POWER DIVIDER* 1 *TO* 4 DENGAN METODE BRANCH LINE COUPLER UNTUK APLIKASI SISTEM BTS 5G

Firman Angga Saputra
NRP 07111540000035

Dosen Pembimbing
Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

Lembar ini sengaja dikosongkan

FINAL PROJECT – EE 184801

DESIGNING POWER DIVIDER 1 TO 4 BY USING BRANCH LINE COUPLER FOR 5G BTS SYSTEM APPLICATION

Firman Angga Saputra
NRP 07111540000035

Supervisor(s)
Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Electrical and Intelligent Information Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

Lembar ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN KEASLIAN
TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul "**Rancang Bangun *Power Divider* 1 *To* 4 Dengan Metode Branch Line Coupler Untuk Aplikasi Sistem BTS 5G**"adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya,13 Juli 2020

Firman Angga Saputra
NRP. 07111540000035

Lembar ini sengaja dikosongkan

Rancang Bangun *Power Divider* 1 *To* 4 Dengan Metode Branch Line Coupler Untuk Aplikasi Sistem BTS 5G

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Teknik Sistem Telekomunikasi Multimedia
Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui :

Dosen Pembimbing

Eko Setijadi, ST., MT.,Ph.D.
NIP. 197210012003121002

SURABAYA
13 JULI, 2020

Lembar ini sengaja dikosongkan

RANCANG BANGUN *POWER DIVIDER* 1 *TO* 4 DENGAN METODE BRANCH LINE COUPLER UNTUK APLIKASI SISTEM BTS 5G

Nama : Firman Angga Saputra
NRP : 07111540000035
Pembimbing I : Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D.

ABSTRAK

5G merupakan generasi lanjutan dari generasi sebelumnya yaitu 4G yang memiliki kualitas sinyal yang lebih baik dan lebih cepat dari generasi sebelumnya. Dalam sistem BTS 5G, digunakan antena mikrostrip *array* yang dapat mempersempit *beamwidth* sehingga target yang dideteksi lebih akurat. Di dalam antena mikrostrip *array* terdapat *power combiner/divider* yang berfungsi untuk menggabungkan daya pada *port input* dan membagi daya pada *port input* menjadi beberapa *port output*. Parameter yang perlu diperhatikan pada *power combiner/divider* adalah dimensi, *return loss* dan *insertion loss* yang dibuat serendah mungkin.

Dalam penelitian ini, akan direalisasikan *power divider* yang bekerja pada frekuensi S *band* yang akan dimanfaatkan untuk Aplikasi Sistem BTS 5G. *Power combiner/divider* ini akan dirancang menggunakan metode *Branchline coupler*. Dari metode tersebut, diharapkan dapat merancang *power combiner/divider* 1 *to* 4 yang memiliki 1 *port input* dan 4 *port output*. Tujuan rancangan tersebut adalah untuk mengefektifkan dan mengefisiensikan pemakaian *power combiner/divider* pada aplikasi system BTS 5G.

Hasil akhir dari penelitian ini menghasilkan *power divider* 1 *to* 4 yang memiliki rentang frekuensi kerja 2,38 – 2,76 GHz dan 2,81 – 3,19 GHz. *Power divider* bekerja optimal pada frekuensi 2,6 GHz pada simulasi menghasilkan nilai *return loss*(S_{11}) -13,49 dB dan nilai *insertion loss* (S_{21}, S_{31}, S_{41} dan S_{51}) sebesar -9,99 dB, -4,85 dB, -5,84 dB, dan -10 dB

Kata Kunci: *5G*, *Power Divider*, Branchline Coupler

Lembar ini sengaja dikosongkan

DESIGNING POWER DIVIDER 1 TO 4 BY USING BRANCH LINE COUPLER FOR 5G BTS SYSTEM APPLICATION

Nama : Firman Angga Saputra
NRP : 07111540000035
1st Supervisor : Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D.

ABSTRACT

5G is an advanced generation from the previous generation, 4G which has a better signal quality and is faster than the previous generation. In a 5G BTS system, a microstrip array antenna is used which can narrow the beamwidth so that the detected target is more accurate. Inside the microstrip array antenna there is a power divider that functions to combine power at the input port and divide the power at the input port into several output ports. The parameters that need to be considered in the power divider are the dimensions, return loss and insertion loss that are made as low as possible.

In this research, a power divider will be realized that works on the S band frequency which will be utilized for the 5G BTS System Application. This combiner / divider power will be designed using the Branchline coupler method. From this method, it is expected to be able to design 1 to 4 power combiner / divider which has 1 input port and 4 output ports. The purpose of the design is to streamline and streamline the use of power dividers in 5G BTS system applications.

The final results of this study produce 1 to 4 power dividers which have a working frequency range of 2.38 - 2.76 GHz and 2.81 - 3.19 GHz. The power divider works optimally at a frequency of 2.6 GHz in the simulation resulting in a return loss (S_{11}) value of -13.49 dB and an insertion loss value (S_{21}, S_{31}, S_{41} and S_{51}) of -9.99 dB, -4.85 dB, -5, 84 dB, and -10 dB.

Keywords: *5G*, *Power Divider*, Branchline Coupler

Lembar ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat, rahmat, dan karunia-Nya yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul **Rancang Bangun *Power Divider* 1 *To* 4 Dengan Metode Branch Line Coupler Untuk Aplikasi Sistem BTS 5G.**

Penulis juga berterima kasih atas bantuan, bimbingan, dan kerjasama kepada:

1. Kedua orang tua, Maryono dan Siti Maslikhaeni, yang telah senantiasa membimbing penulis sejak kecil untuk menjadi orang yang bermanfaat.
2. Tyas, yang tidak pernah lelah untuk selalu memberikan dukungan selama masa perkuliahan.
3. Dosen pembimbing, Bapak Eko Setijadi, yang telah membimbing saya sejak awal penggagasan judul tugas akhir sampai tugas akhir ini dirampungkan.
4. Kepala Laboratorium Antena dan Propagasi, Prof. Gamantyo Hendrantoro, yang telah mengawasi perkembangan dari tugas akhir penulis.
5. Dosen-dosen Departemen Teknik Elektro ITS yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat selama masa perkuliahan.
6. Rekan–rekan e55 atas segala wawasan dan dukungan yang telah diberikan.

Penyusunan buku ini masih terdapat banyak kekurangan, namun penulis berharap buku ini dapat memenuhi fungsinya sebagaimana mestinya, serta dapat bermanfaat bagi yang membutuhkan.

Surabaya, 13 Juli 2020

Penulis

Lembar ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

ABSTRAK ..... **i**
ABSTRACT ..... **iii**
KATA PENGANTAR ..... **v**
DAFTAR ISI ..... **vii**
DAFTAR GAMBAR ..... **ix**
DAFTAR TABEL ..... **xi**
BAB 1 PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Batasan Masalah 2
1.4 Tujuan 3
1.5 Metodologi Penelitian 3
1.6 Sistematika Penelitian 5
1.7 Relevansi 6
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA **7**
2.1 *Base Tranceiver Station (BTS)* 7
2.2 5G atau *Fifth Generation* (Generasi kelima) 9
2.3 *S Band* 10
2.4 Antena *Mikrostrip Array* 11
2.5 Antena Mikrostrip 12
2.6 *Phased Array Antenna* 14
2.7 *Power Combiner/Divider* 15
2.8 *Quadratur(90^0) Hybrid (Branchline Coupler)* 17
2.9 *Instrumen Perancangan dan Pengukuran* 25
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN **28**
3.1 Diagram Alir Perancangan 28
3.2 Spesifikasi Rancangan 29

3.3 Perancangan Secara Teoritis 29
3.4 Fabrikasi dan Pengukuran *Power Divider* 37
BAB 4 ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN 40
4.1 Hasil Simulasi *Power Divider* 1 *to* 2 40
4.2 Hasil Simulasi *Power Divider 1 to 4* 44
4.3 Hasil Fabrikasi dan Pengukuran 48
BAB 5 PENUTUP 56
5.1 Kesimpulan 56
5.2 Saran 57
DAFTAR PUSTAKA 58
BIOGRAFI PENULIS.....61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 *Base Transceiver Station* *8*
Gambar 2. 2 *Spesifikasi sistem komunikasi 5G* *10*
Gambar 2. 3 *Prinsip Kerja Antena*..... *12*
Gambar 2. 4 *Antena Mikrostrip* *12*
Gambar 2. 5 *Bentuk Patch Antena Mikrostrip* *13*
Gambar 2. 6 *Antena Mikrostrip Array 4 Elemen*..... *14*
Gambar 2. 7 *Blok Diagram Radar Menggunakan Phased Array Antenna* *15*
Gambar 2. 8 *Pembagian Daya dan Penggabungan Daya*..... *16*
Gambar 2. 9 *Diagram Blok Sistem pemancar antena mikrostrip array* *17*
Gambar 2. 10 *Branchline Coupler*..... *18*
Gambar 2. 11 *Panjang branchline dan series line pada coupler*..... *23*
Gambar 2. 12 *Geometri pada microstrip line yang digunakan pada branchline coupler*..... *24*
Gambar 2. 13 *Tampilan user interface CST Studio Suite* *26*
Gambar 2. 14 *Agilent N9923A Fieldfox RF Vector Network Analyzer* ... *26*
Gambar 2. 15 *Kabel Jumper RG8* *27*
Gambar 2. 16 *konektor SMA Female dan konektor N-Male* *27*
Gambar 3. 1 *Diagram Alir Metode Penelitian*..... *28*
Gambar 3. 2 *desain equal power divider 1 to 2* *32*
Gambar 3. 3 *desain unequal power divider 1 to 2* *36*
Gambar 3. 4 *Desain unequal power divider 1 to 4*..... *37*
Gambar 3. 5 *Konfigurasi Pengukuran Insertion Loss Power Divider dengan Network Analyzer* *39*
Gambar 4. 1 *Hasil Simulasi Rancangan Power Divider Respon Magnitude S-parameter Respon Fase Port Output* *41*
Gambar 4. 2 *Hasil Simulasi Rancangan Power Divider Respon Magnitude S-parameter Respon Fase Port Output* *43*
Gambar 4. 3 *Hasil Simulasi Rancangan Power Divider Respon Magnitude S-parameter Respon Fase Port Output* *45*
Gambar 4. 4 *Pola medan E dalam struktur Branchline Coupler 2 GHz* . *46*
Gambar 4. 5 *Pola medan E dalam struktur Branchline Coupler 4 GHz* . *47*
Gambar 4. 6 *Pola medan H dalam struktur Branchline Coupler 2 GHz*. *47*
Gambar 4. 7 *Pola medan H dalam struktur Branchline Coupler 4 GHz* *47*

Gambar 4. 8 *penampang depan penampang belakang hasil fabrikasi power divider 1 to 4* 48
Gambar 4. 9 *Proses pengukuran power divider 1 to 4 dengan menggunakan network analyzer*.....49
Gambar 4. 10 *Hasil pengukuran return loss pada power divider* 50
Gambar 4. 11 *Hasil Pengukuran Insertion Loss pada Power Divider* $S21$ 51
Gambar 4. 12 *Hasil Pengukuran Insertion Loss pada Power Divider* $S31$ 52
Gambar 4. 13 *Hasil Pengukuran Insertion Loss pada Power Divider* $S41$ 52
Gambar 4. 14 *Hasil Pengukuran Insertion Loss pada Power Divider* $S51$ 53

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 *Pembagian Frekuensi Radio Berdasarkan ITU 11*
Tabel 2. 2 *Pembagian Frekuensi Radio Berdasarkan IEEE..... 11*
Tabel 3. 1 *Spesifikasi rancangan power divider 29*
Tabel 3. 2 *Spesifikasi PCB FR4 ..... 29*
Tabel 4. 1 *Hasil Rancangan Equal Power Divider 1 to 2 ..... 42*
Tabel 4. 2 *Hasil Rancangan Unequal Power Divider 1 to 2 ..... 44*
Tabel 4. 3 *Hasil simulasi power divide 1 to 4 ..... 46*
Tabel 4. 4 *Perbandingan Return Loss dari Hasil Simulasi dan Pengukuran 50*
Tabel 4. 5 *Perbandingan Insertion Loss dari Hasil Simulasi dan Pengukuran 54*
Tabel 4. 6 *Perbandingan Daya Output dan Loss yang Dihasilkan pada Power Divider 55*

Lembar ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring berkembangnya teknologi telekomunikasi, internet sangat dibutuhkan oleh manusia untuk mengakses informasi lebih cepat. Maka dari itu diciptakanlah teknologi telekomunikasi yang bernama 5G yang bisa mengirimkan data lebih cepat 100 kali lipat dari generasi sebelumnya yaitu 4G[1]. Dalam 5G, data akan dikirim melalui gelombang radio. Gelombang radio akan terbagi menjadi frekuensi-frekuensi yang berbeda. Setiap frekuensi disiapkan untuk tipe komunikasi yang berbeda, seperti aeronautical dan sinyal navigasi maritim, siaran televisi, dan mobile data. Penggunaan frekuensi-frekuensi ini diregulasikan oleh International Telecommunication Union (ITU). ITU telah merestrukturasi bagian-bagian gelombang radio secara komprehensif untuk mentransmisikan data sambil mengembangkan teknologi komunikasi yang sudah ada termasuk 4G dan 3G.

Dalam teknologi 5G data dikirimkan melalui gelombang radio yang dipancarkan oleh BTS. BTS ini bisa berfungsi sebagai pemancar dan penerima sinyal dari piranti komunikasi dan jaringan operator. Dalam sistem BTS, diperlukan antena yang memiliki *main lobe* yang jauh, yang berarti memiliki gain/direktivitas tinggi dan beam harus berada pada jangkauan BTS. Pemanfaatan antena dengan menggunakan teknik *array* dapat digunakan sebagai solusi untuk mempersempit *beamwidth* sehingga target yang dideteksi lebih akurat. Antena yang digunakan dalam sistem radar tersebut harus memiliki dimensi yang kecil dan mudah dikonfigurasikan terhadap suatu bidang biasanya menggunakan antena mikrostrip. Pada antena mikrostrip *array* terdapat *power divider* yang berguna untuk menggabung daya pada *port input* menjadi satu *port input* dan membagi daya pada *port input* menjadi beberapa *port output. Power divider* menyalurkan sinyal dari saluran transmisi menuju saluran transmisi lainnya. Sinyal yang keluar dari *power divider* ini akan masuk ke *phase shifter* yang akan mengatur fasa sinyal ke arah yang diinginkan untuk mendeteksi target. *Power divider* berperan pada sistem pengiriman dan penerimaan sinyal pada antena dalam sistem radar untuk mendapatkan gain dan akurasi deteksi objek yang tinggi serta *beamwidth* yang sempit.

Oleh karena itu, diperlukan penelitian untuk menghasilkan *power divider* yang bekerja dengan baik terutama dari segi dimensi, *return loss* dan *insertion loss* yang dibuat serendah mungkin. Dari penelitian tersebut, diharapkan dapat membuat rancangan *power divider* 1 *to* 4 yang memiliki 1 *port input* dan 4 *port output.* Karena harga *power combiner/divider* mahal di pasaran, maka desain tersebut bertujuan untuk mengefektifkan dan mengefisiensikan pemakaian *power combiner/divider* pada sistem BTS 5G tersebut.

Pada laporan tugas akhir ini dibuatlah *power divider* 1 *to* 4 dengan menggunakan bahan *print circuit board* (PCB) jenis FR4 (*Flame Resistant 4*) yang memiliki dielektrik konstan tinggi sehingga memiliki dimensi kecil. Metode yang digunakan untuk merancang *power divider* adalah *Branch Line Coupler.* Metode ini dipilih karena memiliki kelebihan dari segi *loss*, harga dan mudah untuk dikonfigurasikan pada suatu bidang. Spesifikasi yang harus dipenuhi adalah frekuensi kerja 2,6 GHz, dengan *return loss* $\leq$ -10 dB dan *insertion loss* $\geq$ -10 dB dengan toleransi $\leq$ 1 dB pada tiap port output. *Power divider* ini terbuat dengan *full ground plane* dan *patch* dari tembaga. Harapannya, *power divider* ini dapat diaplikasikan pada sistem BTS 5G.

1.2 Rumusan Masalah

Beberapa permasalahan yang mendasari tugas tugas akhir ini:

1. Bagaimana desain *power divider* 1 *to* 2 dengan teknik *Branch Line Coupler* dengan spesifikasi target yang diinginkan sebagai referensi untuk pengembangan desain *power divider* 1 *to* 4.
2. Bagaimana desain *power divider* 1 *to* 4 dengan teknik *Branch Line Coupler* dengan spesifikasi target yang diinginkan.
3. Bagaimana *performance power divider* 1 *to* 4 yang telah didesain dengan cara simulasi dan pengukuran.

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian tidak menyimpang dari permasalahan maka penulis membatasi masalah sebagai berikut:

1. Desain *power divider* akan digunakan pada antena *array* yang berbentuk mikrostrip.
2. Frekuensi kerja *power divider* dapat bekerja pada frekuensi 2,6 GHz sehingga dapat diaplikasikan pada antena *array* mikrostrip 5G.
3. *Software* yang digunakan untuk melakukan proses simulasi *power divider* adalah CST *Studio Suite.*

4. Metode yang digunakan pada *power combiner/divider* 1 *to* 4 adalah *Branch Line Coupler*.
5. Pengujian kinerja *power divider* hasil desain pada *software* maupun fabrikasi dilakukan di Laboratorium Antena dan Propagasi Teknik Elektro ITS.
6. Bahan implementasi *power divider* diterapkan pada substrat FR4 (permitivitas bahan 4,3 dan ketebalan 1,6 mm).

1.4 Tujuan

Tujuan yang diharapkan tercapai setelah selesainya tugas akhir ini adalah:

1. Membuat desain *power divider* 1 *to* 2 dengan teknik *Branch Line Coupler* dengan spesifikasi target yang diinginkan.
2. Membuat desain *power divider* 1 *to* 4 dengan teknik *Branch Line Coupler* dari hasil pengembangan desain *power divider* 1 *to* 2 dengan teknik *Branch Line Coupler* dengan spesifikasi target yang diinginkan.
3. Melakukan pengujian dan analisis kinerja *power divider* 1 *to* 4 dengan teknik *Branch Line Coupler* dari hasil simulasi *software* dan hasil fabrikasi.

1.5 Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang digunakan pada tugas akhir ini terbagi menjadi sebelas tahap sebagai berikut:

1. **Studi Literatur**
   Mempelajari teori dasar yang diperlukan sebagai langkah awal dalam pengerjaan tugas akhir, termasuk mempelajari *paper* acuan yang digunakan sebagai referensi rancangan *power divider* dan juga mempelajari *software* simulasi.

2. **Simulasi Referensi Rancangan *Power Combiner/Divider***
   Melakukan analisis awal dengan mensimulasikan rancangan *power divider* yang ada pada *paper* referensi dengan tepat. Setiap parameter yang disimulasikan sengaja dibuat sama dengan *paper* referensi supaya mendapatkan hasil yang sesuai dengan *paper* referensi. Hal ini bertujuan untuk mempelajari dan memahami konsep *power divider* secara *real* pada *software.*

3. **Analisis Hasil Simulasi Referensi**
   Menganalisis *scattering parameter, return loss* dan *insertion loss* yang didapat dari hasil simulasi rancangan *power divider* pada *paper* referensi. Hasil yang disimulasikan bisa saja berbeda dengan hasil yang didapat pada *paper* referensi, hal ini dikarenakan terdapat hal-hal yang sengaja tidak ditunjukkan oleh penulis pada *paper* agar karyanya tidak mudah ditiru. Oleh karena itu, diperlukan beberapa uji coba untuk mendapatkan parameter dimensi yang sesuai atau mendekati rancangan tersebut.

4. **Modifikasi Rancangan *Power Divider***
   Proses modifikasi dilakukan dengan cara mengganti substrat menjadi FR4, memperkecil dimensi *power divider* dengan menggunakan metode *Branchline Coupler*, memperbesar dimensi *power divider* untuk mendapatkan frekuensi kerja yang diinginkan, menambahkan *via* optimasi, menduplikasi desain *power divider* untuk dijadikan empat *port output* akhir *power divider*.

5. **Simulasi Hasil Modifikasi *Power Divider***
   Melakukan simulasi terhadap hasil modifikasi rancangan *power divider* menggunakan *software.*

6. **Analisis Hasil Simulasi Modifikasi**
   Menganalisis *scattering parameter, return loss* dan *insertion loss* yang didapat dari hasil simulasi modifikasi rancangan *power divider.* Hasil yang diperoleh disesuaikan dengan spesifikasi target yang diinginkan, seperti kinerja pada frekuensi kerja 2,6 GHz apakah memenuhi *return loss* $\leq$ -10 dB, *insertion loss* $\geq$ -10 dB dengan toleransi $\leq$ 1 dB pada tiap *port output*.

7. **Simulasi *Power Divider***
   Melakukan modifikasi rancangan *power divider*.

8. **Fabrikasi Rancangan *Power Combiner*/*Divider***
   Melakukan fabrikasi terhadap rancangan *power divider* 1 *to* 4 dengan menggunakan substrat FR4.

9. **Pengukuran Hasil Fabrikasi**
   Melakukan pengukuran hasil fabrikasi dengan menggunakan

perangkat *network analyzer* (NA). Parameter yang diukur adalah *scattering parameter* dan *bandwidth.*

10. **Analisis Hasil Fabrikasi**
    Melakukan analisis terhadap hasil pengukuran setelah fabrikasi yang kemudian dibandingkan dengan hasil simulasi pada *software.* Dari hasil analisis tersebut akan ditarik kesimpulan dan juga saran perbaikan untuk penelitian selanjutnya.

11. **Penulisan Laporan Tugas Akhir**
    Pada tahap ini, proses pengumpulan data hasil simulasi dan hasil pengukuran diolah dan kemudian disusun menjadi buku laporan sebagai hasil pengerjaan tugas akhir.

1.6 Sistematika Penelitian

Pembahasan dalam tugas akhir ini dibagi menjadi lima bab dengan sistematika sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini akan diuraikan mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, metodologi penelitian, sistematika penulisan dan relevansi.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dijelaskan tentang tinjauan pustaka yang akan membahas tentang BTS 5G, Frekuensi 5G, Antena Mikrostrip *Array*, *Power Divider, Branchline Coupler*, Parameter Pengukuran Power Divider dan Instrumen Perancangan dan Pengukuran.

BAB III PERANCANGAN DAN REALISASI ALAT

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai langkah-langkah dalam membuat desain *power divider*, simulasi desain menggunakan *software* dan realisasi desain menjadi alat yang siap dianalisis.

BAB IV PENGUKURAN KINERJA DAN ANALISIS DATA

Pada bab ini akan ditampilkan hasil pengukuran baik simulasi maupun fabrikasi, kemudian akan dilakukan analisis terhadap data yang diperoleh berdasarkan rumusan masalah.

BAB V PENUTUP

Pada bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran terhadap laporan tugas akhir yang dikerjakan.

1.7 Relevansi

Hasil dari tugas akhir ini diharapkan dapat memberi manfaat sebagai berikut:

1. Dapat memberikan informasi perancangan *power divider* 1 *to* 4 dengan teknik *Branchline Coupler* dan dapat dipakai untuk dikembangkan pada metode penelitian selanjutnya.
2. Desain *power divider* ini dapat diaplikasikan pada sistem komunikasi dan radar yang menggunakan rentang frekuensi 5G.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Base Tranceiver Station (BTS)*

Base Transceiver Station atau disingkat BTS adalah sebuah infrastruktur telekomunikasi yang memfasilitasi komunikasi nirkabel antara piranti komunikasi dan jaringan operator[2]. Piranti komunikasi penerima sinyal BTS bisa telepon, telepon seluler, jaringan nirkabel sementara operator jaringan yaitu GSM, CDMA, atau platform TDMA BTS mengirimkan dan menerima sinyal radio ke perangkat mobile dan mengkonversi sinyal-sinyal tersebut menjadi sinyal digital untuk selanjutnya dikirim ke terminal lainnya untuk proses sirkulasi pesan atau data. Nama lain dari BTS adalah *Base Station* (BS), *Radio Base Station* (RBS), atau *node B* (eNB). Hingga saat ini masyarakat belum bisa membedakan antara perangkat BTS dan menara BTS padahal menara BTS bukanlah BTS itu sendiri. Setiap BTS menyimpan data-data internal yang terkait satu sama lain yang membuat suatu BTS beroperasi. Data-data ini dapat berfungsi sebagai identitas dan profil sebuah BTS, atau elemen yang membantu kinerja BTS. Data tersebut adalah:

- Data situs: Sebuah data yang berisi tentang ID situs, jenis kunci situs, nama penjaga situs, tipe menara, dan tinggi menara. Data ini hanya sebagai data administrasi yang tidak berdampak langsung terhadap beroperasinya sebuah BTS.

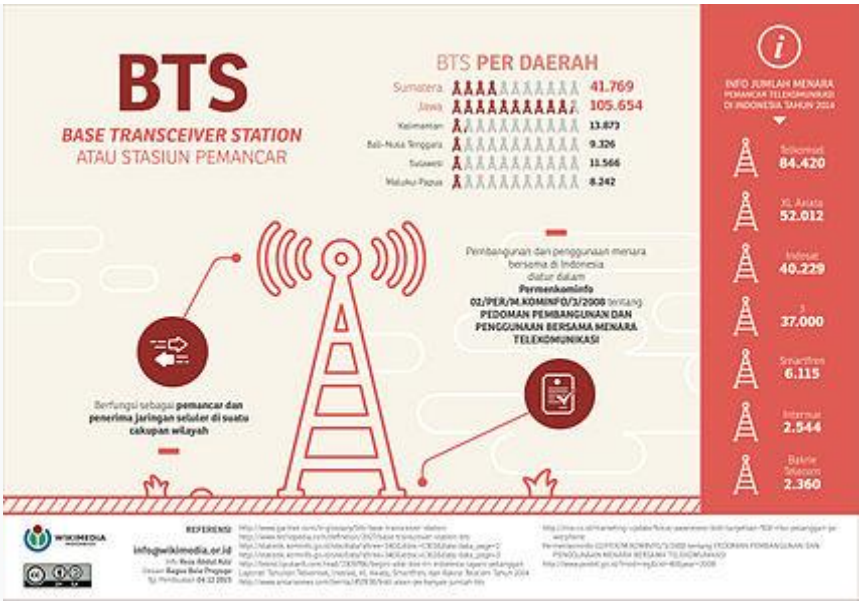
- Data PLN: Data ini berisi tentang nomor pelanggan PLN, Daya dan phase yang digunakan dalam site tersebut, Area layanan, nomor telpon PLN dan tipe rectifier. Data ini berfungsi sebagai pertolongan utama apabila ada masalah yang berhubungan dengan sumber tenaga listrik BTS.

- Data perangkat BTS: Di dalam data perangkat BTS berisi tentang nama BSC dimana BTS tersebut berada, frekuensi BTS atau BTS *Band*, tipe dari BTS, Konfigurasi BTS, Tipe dari TRX, Jumlah dari TRX, tipe *combiner*, dan jumlah *combiner*. Data – data tersebut

berfungsi dalam proses penyelesaian masalah yang berhubungan dengan perangkat keras BTS.

- Data perangkat transmisi: Data ini berisi tentang tipe perangkat microwave, kapasitas perangkat microwave, dan facing dengan situs BTS yang lain. Hal ini berfungsi untuk membantu proses penyelesaian masalah perangkat transmisi itu sendiri.

- Data rute link transmisi: Di dalam data rute link transmisi berisi tentang rute perjalanan data transmisi antar BTS sampai ke BSC. Rute ini merupakan alur transmisi antara BSC dengan BTS nodul maupun BTS *end point*.



Gambar 2. 1 *Base Transceiver Station*

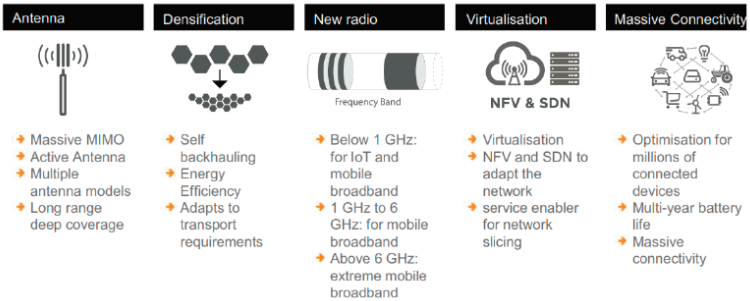
2.2 5G atau *Fifth Generation* (Generasi kelima)

5G atau Fifth Generation (generasi kelima) adalah sebuah istilah yang digunakan untuk menyebut generasi kelima sebagai fase berikutnya dari standar telekomunikasi seluler melebihi standar 4G. Teknologi generasi kelima ini direncanakan akan resmi diliris untuk sistem operasi seluler pada 2020, sehingga saat ini masih terlalu dini untuk mengetahui akan seperti apa teknologi 5G tersebut. Dalam teknologi 5G, data akan dikirimkan melalui gelombang radio[1]. Gelombang radio akan terbagi menjadi frekuensi-frekuensi yang berbeda. Setiap frekuensi disiapkan untuk tipe komunikasi yang berbeda, seperti aeronautical dan sinyal navigasi maritim, siaran televisi, dan mobile data. Penggunaan frekuensi-frekuensi ini diregulasikan oleh International Telecommunication Union (ITU). ITU telah merestrukturasi bagian-bagian gelombang radio secara komprehensif untuk mentransmisikan data sambil mengembangkan teknologi komunikasi yang sudah ada termasuk 4G dan 3G. keunggulan teknologi 5G adalah sebagi berikut :

- Kecepatan data yang lebih signifikan dari 4G
- Memiliki transfer data dari satu telepon ke telepon lain dengan kecepatan satu mili detik.
- Dapat terkoneksi dengan alat seperti telepon, mobil, dan peralatan rumah tangga

Teknologi 5G diprediksi memiliki kecepatan sekitar 800Gbps, atau seratus kali lebih cepat dari kecepatan generasi sebelumnya.Dengan kecapatan seperti itu, teknologi 5G bisa memungkinkan untuk mengunduh 33 film *High Definition* hanya dalam beberapa detik.

Teknologi 5G merupakan sebuah sebuah evolusi dari teknologi sellular yang sebelumnya[3]. Teknologi seperti pada antena, densifikasi, virtualisasi sampai dengan koneksi masif. Teknologi inilah yang dikembangkan agar bisa bersinergi untuk mencapai 5G. Dalam sistem komunikasi 5G ada beberapa peralatan yang menopang berjalannya sistem komunikasi 5G agar bekerja maksimal dan mencapai kecepatan yang penuh. Kecepatan yang dapat diperoleh teknologi 5G ini mencapai 800 Gbps. Berikut adalah beberapa peralatan yang berperan penting dalam berjalannya teknologi 5G secara maksimal.



Gambar 2. 2 Spesifikasi sistem komunikasi 5G

2.3 *S Band*

Menurut standar IEEE (*Institute of Electical and Electronics Engineering)* tentang gelombang radio, S *band* merupakan bagian dari pita gelombang mikro pada spektrum elektromagnetik yang memiliki rentang frekuensi 2 sampai 4 GHz. S *band* terletak pada batas konvensional antara UHF (*Ultra High Frequency)* dan SHF (*Super High Frequency)* pada frekuensi 3 GHz [7].

S *band* biasanya digunakan untuk keperluan radar dan komunikasi seperti pada radar kapal permukaan, radar cuaca dan beberapa satelit komunikasi. Kelebihan dari pita S *band* adalah tahan terhadap perubahan cuaca seperti hujan deras dan awan tebal, namun memiliki kelemahan yaitu rentan terhadap gangguan sinyal Wi-Fi yang menggunakan frekuensi 2,4 GHz dan 5 GHz untuk wilayah Indonesia. Sinyal S band Digunakan untuk sistem radar dan sistem komunikasi maupun broadcast, tahan terhadap cuaca dengan badwidth terbatas.

S-band di Indonesia digunakan oleh layanan TV Satelit Indovision dari MNC. Sinyal S band memiliki banyak sekali kegunaan antara lain untuk penayangan televisi dan wi-fi. Untuk wifi sendiri S band yang memiliki rentang frekuensi dari 2 sampai 4 GHz ini bisa dipakai untuk sinyal 5G. Dimana 5G sendiri adalah hal baru dalam mempermudah komunikasi dengan memiliki kecepatan yang luar biasa. Tetapi sinyal S band memiliki kekurangan yaitu rentan terhadap perubahan cuaca atau cuaca ekstrim seperti ketika terjadi hujan deras yang disertai oleh angin.

Tabel 2. 1 *Pembagian Frekuensi Radio Berdasarkan ITU*

Frekuensi	Panjang Gelombang	Nama Band
30-300 Hz	10 – 1 Mm	ELF (extremely low frequency)
300-3000 Hz	1 Mm – 100 km	
3-30 kHz	100 – 10 km	VLF (very low frequency)
30-300 kHz	10 – 1 km	LF (low frequency)
300-3000 kHz	1 km – 100 m	MF (medium frequency)
3-30 MHz	100 – 10 m	HF (high frequency)
30-300 MHz	10 – 1 m	VHF (very high frequency)
300-3000 MHz	1 m – 10 cm	UHF (ultra high frequency)
3-30 GHz	10 – 1 cm	SHF (super high frequency)
30-300 GHz	1 cm – 1 mm	EHF (extremely high frequency)
300-3000 GHz	1 mm – 100 μm	

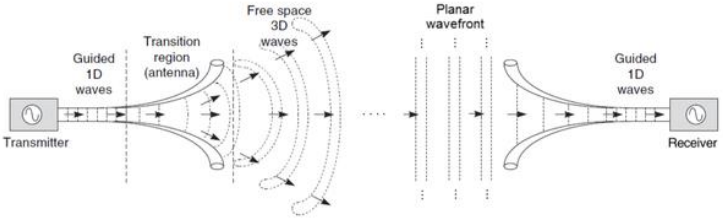
Tabel 2. 2 *Pembagian Frekuensi Radio Berdasarkan IEEE*

Frekuensi	Panjang Gelombang	Nama Band menurut IEEE
1-2 GHz	30 – 15 cm	L
2-4 GHz	15 – 7,5 cm	S
4-8 GHz	7,5 – 3,75 cm	C
8-12 GHz	3,75 – 2,5 cm	X
12-18 GHz	2,5 – 1,67 cm	Ku
18-27 GHz	1,67 – 1,11 cm	K
27-40 GHz	1,11 cm – 7,5 mm	Ka
40-300 GHz	7,5 – 1 mm	mm

2.4 Antena *Mikrostrip Array*

Antena didefinisikan sebagai suatu perangkat dari logam yang mampu memancarkan atau menerima gelombang radio. Dengan kata lain, antena merupakan perangkat penghubung antara ruang bebas dengan saluran transmisi. Saluran transmisi bisa berupa kabel *coaxial* atau pipa berongga (*waveguide*) yang berfungsi untuk mengirimkan gelombang elektromagnetik dari pemancar menuju antena, ataupun dari antena menuju penerima [8]. Antena mikrostrip ini memiliki banyak kelebihan.

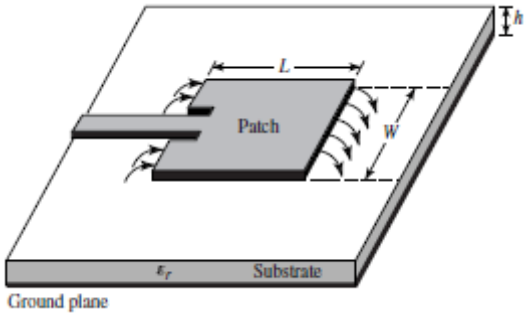
Diantara lain adalah antena mikrostrip mudah untuk dibuat, harga yang murah, bahan yang ringan, dan memiliki nilai efektifitas yang tinggi. Antena mikrostrip juga merupakan antena yang pengaplikasiannya sangat luas di dunia telekomunikasi karena antena mikrostrip sangat mudah untuk dimodifikasi sesuai dengan kebutuhan pengguna dan aplikasinya.



Gambar 2. 3 *Prinsip Kerja Antena*

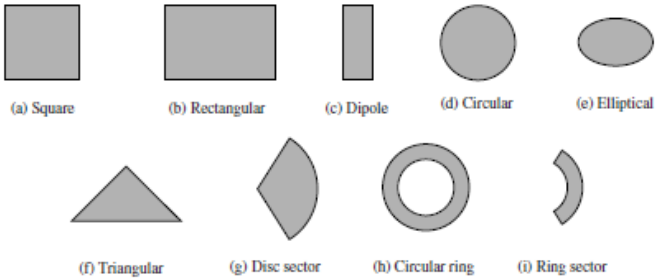
2.5 Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip merupakan antena yang populer seiring dengan berkembangnya teknologi dikarenakan memiliki dimensi yang ringan, kecil dan mudah dikonfigurasikan pada suatu bidang. Antena mikrostrip adalah antena yang terdiri dari tiga elemen utama yaitu *conducting patch, dielectiric substrate* dan *ground plane.* Masing-masing elemen tersebut memiliki fungsi yang berbeda.



Gambar 2. 4 *Antena Mikrostrip [8]*

Conducting patch terletak pada bagian paling atas dari antena mikrostrip yang berfungsi untuk meradiasikan gelombang elektromagnetik ke udara. Pada umumnya *patch* terbuat dari bahan konduktor tipis yang akan beresonansi sesuai dengan frekuensi kerjanya. Pada bagian *patch* terdapat saluran pencatu yang berfungsi untuk menghubungkan *patch* dengan perangkat pengirim atau penerima radio. Bentuk dari *patch* sangat bervariasi dapat berupa persegi, segitiga, lingkaran ataupun *circular ring.*



Gambar 2. 5 *Bentuk Patch Antena Mikrostrip [8]*

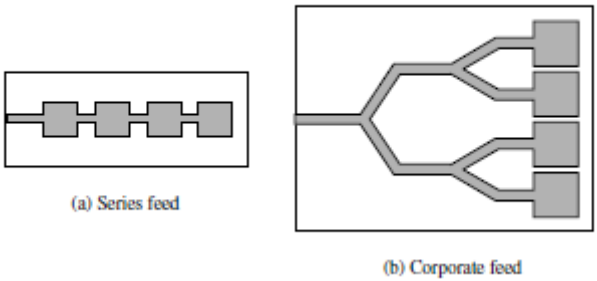
Dielectric substrate merupakan bahan dielektrik yang memisahkan *patch* dan *ground* serta berfungsi seagai media penyalur gelombang elektromagnetik dari catuan. Elemen substrat memiliki jenis yang bervariasi dan dapat digolongkan berdasarkan nilai konstanta dielektrik dan ketebalannya. Kedua parameter tersebut dapat mempengaruhi frekuensi kerja, *bandwidth* dan juga efisiensi antena yang akan dibuat. Semakin tinggi konstanta dielektrik akan didapatkan dimensi antena yang kecil, akan tetapi memiliki faktor disipasi yang lebih tinggi yang menyebabkan efisiensi menjadi rendah dan *bandwidth* yang kecil. Sedangkan semakin tebal substrat akan didapatkan antena dengan *bandwidth* yang lebar dan efisiensi yang tinggi, namun dimensi antena akan menjadi besar dan meningkatkan kemungkinan munculnya gelombang permukaan. Maka dari itu, diperlukan optimasi dalam perancangan antena mikrostrip untuk mendapatkan spesifikasi yang diinginkan.

Ground plane terletak pada bagian paling bawah dari antena mikrostrip yang berfungsi sebagai reflektor dari gelombang elektromagnetik. *Ground plane* bisa terbuat dari bahan konduktor dan memiliki ukuran yang mengikuti panjang dan lebar dari substrat. jika *Ground plane* tidak ada maka tidak akan terjadi reflektrof gelombang elektromagnetik sehingga gelombang elektromagnetik juga tidak akan mengalir, dan antena mikrostrip tidak bisa bekerja sesuai kebutuhannya.

2.6 *Phased Array Antenna*

Antena dengan elemen tunggal biasanya memiliki pola radiasi yang lebar dan memiliki *gain* yang rendah. Pada beberapa aplikasi seperti pada sistem radar diperlukan antena dengan keterarahan yang baik serta *gain* yang tinggi. Dengan menggunakan antena mikrostrip pada sistem radar tersebut terdapat kelemahan mendasar yaitu *bandwidth* yang sempit dan gain yang rendah. Namun hal ini dapat diatasi dengan menambahkan *patch* secara *array.*

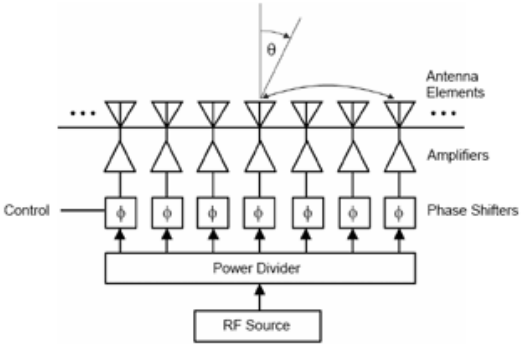
Antena *array* adalah susunan dari beberapa antena yang identik [8]. Dengan menggunakan teknik *array* akan didapatkan *gain* yang lebih tinggi dan juga *beamwidth* yang lebih sempit. Dalam antena mikrostrip, yang disusun menjadi *array* adalah bagian *patch.* Medan total dari antena *array* ditentukan oleh penjumlahan vektor dari medan yang diradiasikan oleh elemen tunggal. Untuk mendapatkan pola dengan arah yang diinginkan, diperlukan medan dari setiap elemen *array* yang berinterferensi secara konstruktif pada arah yang diinginkan dan berinterferensi secara destruktif pada arah yang lain.



Gambar 2. 6 *Antena Mikrostrip Array 4 Elemen [8]*

Antena *phased array* terdiri dari banyak elemen antena dengan menggunakan *phase shifter. Beam* terbentuk dari hasil pergeseran fase

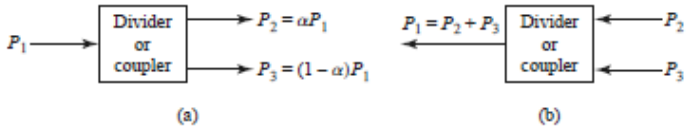
dari tiap sinyal pada elemen antena untuk menghasilkan interferensi pada arah yang diinginkan. *Phase shifter* berperan sebagai pengubah fase sinyal pada saluran transmisi dengan cara mempengaruhi *delay* fasa antara 0° sampai dengan 360°. Maka dari itu, *beam* antena dapat terfokus pada arah tertentu dengan adanya peran *phase shifter.* Pada setiap kondisi fase seharusnya nilai dari amplitudo sinyal yang melewati *phase shifter* adalah sama. Sebelum fase sinyal digeser, sinyal tersebut akan masuk melalui *power combiner/divider. Power combiner/divider* berperan untuk memecah sinyal yang datang dari *port input* menjadi beberapa keluaran sebelum memasuki *phase shifter* sehingga dapat bekerja pada antena penerima.



Gambar 2. 7 *Blok Diagram Radar Menggunakan* Phased Array Antenna

2.7 *Power Combiner/Divider*

Power combiner/divider merupakan komponen pasif *microwave* yang digunakan sebagai penggabung daya dan juga sebagai pembagi daya [7]. *Power combiner/divider* memiliki peranan penting dalam pengiriman sinyal. Dalam pembagian daya, sinyal input dibagi menjadi beberapa sinyal output dengan daya yang lebih rendah. *Power divider* biasanya menghasilkan sinyal output yang bersifat *in-phase* dengan rasio pembagian daya yang sama (3 dB) namun bisa juga menghasilkan rasio yang berbeda. Prinsip kerja *power divider* bisa dilihat pada gambar 2.9.



Gambar 2. 8 *(a) Pembagian Daya dan (b) Penggabungan Daya [7]*

Tipe *power divider* sederhana adalah T-*junction* yang memiliki tiga *port network. Scattering matrix* dari tiga *port network* memiliki 9 elemen independen:

$$[S] = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} \end{bmatrix} \tag{2.1}$$

Jika komponen *power divider* bersifat pasif dan mengandung material anisotropis, maka *power divider* bersifat *reciprocal* dan *scattering matrix* menjadi simetris ($S_{ij} = S_{ji}$) . Biasanya untuk mennghindari hilangnya daya, maka *power divider* harus memiliki sambungan yang *lossless* dan *match* pada tiap *port.*

Jika tiap *port matched,* maka $S_{ii} = 0$, dan jika *network* bersifat *reciprocal* maka *scattering matrix* akan menjadi

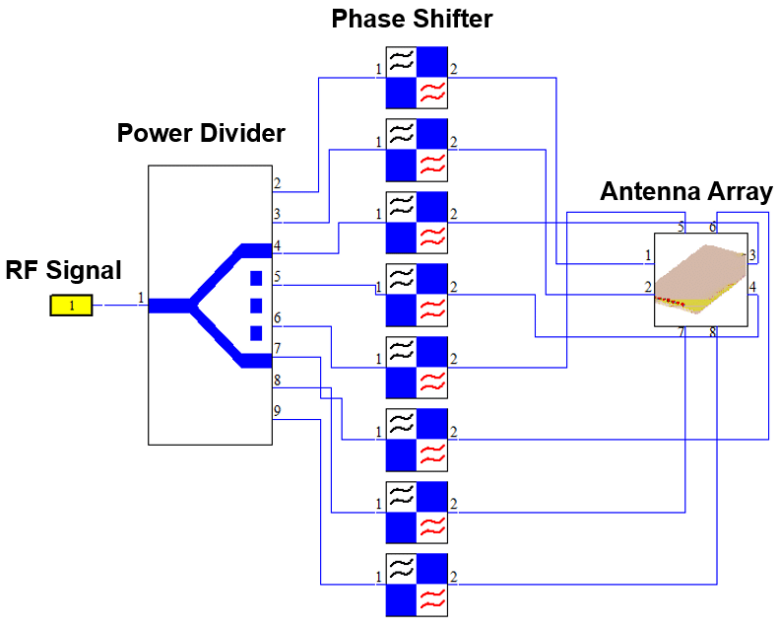
$$[S] = \begin{bmatrix} 0 & S_{12} & S_{13} \\ S_{21} & 0 & S_{23} \\ S_{31} & S_{32} & 0 \end{bmatrix} \tag{2.2}$$

Pada kondisi *lossless* untuk mendapatkan persamaan yang benar, maka matriks pada persamaan (2.2) harus memenuhi persyaratan berikut:

$$[S_{12}]^2 + [S_{13}]^2 = 1 \tag{2.3a}$$
$$[S_{12}]^2 + [S_{23}]^2 = 1 \tag{2.3b}$$
$$[S_{13}]^2 + [S_{23}]^2 = 1 \tag{2.3c}$$
$$S_{13}^* S_{23} = 0 \tag{2.3d}$$
$$S_{23}^* S_{12} = 0 \tag{2.3e}$$
$$S_{12}^* S_{13} = 0 \tag{2.3f}$$

Dalam memenuhi persamaan (2.3d)-(2.3f), setidaknya dua dari tiga parameter (S_{12}, S_{13}, S_{23}) harus bernilai nol. Namun dengan kondisi

tersebut akan menyebabkan salah satu persamaan (2.3a)-(2.3c) tidak dapat terpenuhi, hal ini mengakibatkan *three port network power divider* tidak dapat bersifat *lossless, reciprocal* dan *match* secara bersamaan. Akan tetapi jika salah satu dari tiga kondisi tersebut dipenuhi, *power divider* tetap dapat direalisasikan. Pada penggunaan *power divider* pada antena mikrostrip array mengikuti diagram blok seperti berikut :

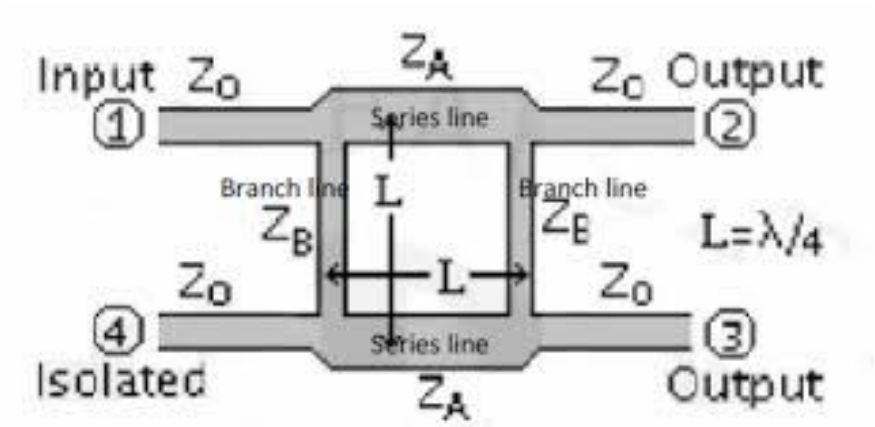


Gambar 2. 9 Diagram Blok Sistem pemancar antena mikrostrip array

2.8 *Quadratur(90^0) Hybrid (Branchline Coupler)*

Quardrature hybrids adalah 3 dB directional coupler dengan perbedaan fasa sebesar 90° pada kedua outputnya, through dan coupled port. Hybrid tipe ini biasa dibuat dalam bentuk microstrip atau stripline seperti ditunjukkan Gambar 2.8 dan biasa disebut dengan branch-line hybrid. Pada *power divider branchline coupler* terdapata perbedaan impedansi, hal ini dikarenakan untuk mengatur besar nilai output yang dihasilkan oleh *power divider*. Nilai output yang keluar bisa

memiliki nilai yang sama besarnya pada kedua *output port* atau juga bisa bernilai berbeda. Hal ini bermanfaat untuk menyesuaikan kebutuhan kita sebagai pengguna untuk disesuaikan dengan kebutuhan daya antena yang kita gunakan. Perbedaan ini juga bermanfaat untuk memperbanyak variasi agar bisa disesuaikan dengan kebutuhan. Dibawah ini adalah gambar dari desain *power divider 1 to 2 branchline coupler* (*quadratur (90^0) Hybrid*)



Gambar 2. 10 *Branchline Coupler*

3dB coupler lainnya, seperti coupled line couplers atau Lange coupler, dapat digunakan juga sebagai quardrature coupler. Operasi dasar pada branch line coupler adalah sebagai berikut. Dengan semua port dalam keadaan matched, power yang masuk ke port 1 dibagai rata antara port 2 dan port 3, dengan pergeseran fasa 90° antara kedua outputnya. Tidak ada power yang dicoupled ke port 4 (isolated port). Matriks [S] untuk branch line coupler dinyatakan oleh :

$$[S] = -\frac{1}{\sqrt{2}}\begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & S_{14} \\ S_{12} & S_{22} & S_{23} & S_{24} \\ S_{13} & S_{23} & S_{33} & S_{34} \\ S_{14} & S_{24} & S_{34} & S_{44} \end{bmatrix} = -\frac{1}{2}\begin{vmatrix} 0 & J & 1 & 0 \\ J & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & J \\ 0 & 1 & J & 0 \end{vmatrix} \quad (2.4)$$

Branch line coupler memiliki derajat simetri yang tinggi, sehingga semua *port*nya dapat bekerja sebagai *input*. *Output port*nya akan selalu berada di sisi yang berlawanan dengan *input port*, dan *isolated port* akan selalu berada di satu sisi dengan *input port*. Simetri ini terefleksi pada *scattering matriks*nya, dimana setiap baris dapat dicari dengan mentranspos baris pertamanya.

2.8.1 Karakteristik Brancline Coupler

Karakteristik dari *branch line coupler* ditunjukkan oleh beberapa factor yaitu [5]:

1. **Coupling Factor**

   Coupling Factor didefinisikan sebagai:

   Coupling Factor (dB) = $10 \log \frac{p_1}{p_3}$ (2.5)

   Dimana P_1 adalah input power dan P_3 adalah output power dari coupled port.

2. **Loss**

   Pada ideal *branchline coupler, loos* pada port 1 ke port 2 yang disebabkan *power divider* dengan *coupled output* adalah:

   Insertion loss (dB) = $10 \log \left[1 - \frac{P_3}{P_1}\right]$ (2.6)

   Loss sebenarnya yang terjadi pada Branchline Coupler adalah kombinasi antara *coupling loss, dielectric loss,* dan VSWR *loss.*

3. **Isolasi**

   Isolasi pada sebuah *Branchline Coupler* dapat didefinisikan sebagai perbedaan pada sinyal level dalam dB antara input port dan isolated port ketika dua output port diakhiri dengan matched load.

   Isolasi (dB) = $-10 \log \frac{P_4}{P_1}$ (2.7)

   Isolasi juga dapat didefinisikan hubungan antara dua port otput. Pada kasus ini, dua port dianggap output, satu port sebagai input dan satu port lainnya dianggap sebagai isolated diakhiri dengan matched load. Maka,

$$\text{Isolasi (dB)} = 10 \log \frac{P_3}{P_2} \qquad (2.8)$$

Isolasi antara input dan isolated port dapat berbeda dengan isolasi antara dua output port. Sebagai contoh, isolasi antara port 1 dan port 4 bisa 30 dB, sedangkan isolasi port 2 dan port 3 bisa memiliki nilai yang berbeda misal 20 dB. Jika pengukuran tidak dapat dilakukan maka bisa dianggap bahwa nilainya sama. Pada keadaan nyata *isolated port* tidak pernah benar benar terisolasi secara sempurna, karena tetap saja ada power yang melewatinya.

4. **Directivity**

Directivity berhubungan langsung dengan isolasi. Directivity didefinisikan sebagai,

$$\text{Isolasi (dB)} = -10 \log \frac{P_4}{P_3} = -10 \log \frac{P_4}{P_1} + 10 \log \frac{P_3}{P_1} \qquad (2.9)$$

Dimana P_3 adalah output power dari coupled port dan P_4 adalah output power dari isolated port. Directivity tidak dapat diukur secara langsung, tetapi dapat dari pengukuran isolasi dan coupling.

$$\text{Directivity (dB)} = \text{Isolasi (dB)} - \text{Coupling (dB)} \qquad (2.10)$$

5. **VSWR (Voltage StandingWave Ratio)**

VSWR adalah 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-) perbandingan antara tegangan yang direfleksikan dengan tegangan yang dikirimkan disebut sebagai koefisien refleksi tegangan (Γ) :

$$\Gamma = \frac{V_{0-}}{V_{0+}} = \frac{Z_L}{Z_0} \frac{-Z_0}{+Z_0} \qquad (2.11)$$

Dimana Z_L adalah impedansi beban (load) dan Z_0 adalah impedansi saluran lossless.

Pada *branchline coupler*, besarnya koefisien refleksi adalah :

$$\Gamma_{in} = \frac{\Gamma e + \Gamma o}{2} \qquad (2.12)$$

Sedangkan Rumus untuk mencari rumus VSWR adalah :
Rumus mencari VSWR adalah :

$$S = \frac{|\widetilde{V}|max}{|\widetilde{V}|min} = \frac{1+|\Gamma in|}{1-|\Gamma in|} \quad (2.13)$$

Kondisi yang baik adalah ketika VSWR bernilai 1 yang berarti tidak ada refleksi ketika saluran dalam keadaan *matching* sempurna. Namun pada praktiknya kondisi ini sulit untuk didapatkan. Oleh karena itu standar VSWR yang diijinkan untuk fabrikasi antena adalah VSWR ≤ 2.

6. **Return Loss**

Return loss adalah perbandingan antara amplitudo dari gelombang yang direfleksikan terhadap amplitudo gelombang yang dikirimkan [8]. *Return loss* digambarkan sebagai peningkatan amplitudo dari gelombang yang direfleksikan (V_0^-) dibanding dengan gelombang yang dikirim (V_0^+). *Return loss* dapat terjadi akibat adanya diskontinuitas diantara saluran transmisi dengan impedansi masukan beban. Pada rangkaian gelombang mikro yang memiliki diskontinuitas (*mismatched*), besarnya *return loss* bervariasi tergantung pada frekuensi :

$$\text{Return loss} = = 20 \log_{10} |\Gamma| \quad (2.14)$$

Pada coupler, nilai return loss yang baik adalah di bawah -20 dB, 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 menjadi salah satu acuan untuk melihat apakah coupler sudah dapat bekerja pada frekuensi yang diharapkan atau tidak. Return loss dapat juga dikatakan sebagai sejumlah daya yang direfleksikan kembali ke sumber dari sebuah terminasi yang tidak benar. Return loss dapat terjadi diakibatkan oleh kondisi rangkaian yang tidak matching. Jika daya yang ditransmisikan oleh sumber adalah PT dan daya yang direfleksikan adalah PR, maka return loss merupakan pembagian antara PR dengan PT. Return loss juga dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut :

$$R_L = 10 \log \frac{Pr}{Pt} = 10 \log \left(\frac{VSWR-1}{VSWR+1}\right)^2 \quad (2.15)$$

Agar daya yang ditansfer maksimum, return loss haruslah sekecil mungkin. Itu artinya PR / PT juga harus sekecil mungkin, atau jika diekspresikan dalam dB, nilai return loss harus bernilai negatif sebesar mungkin. Sebagai contoh – 40 dB lebih bagus dibandingkan dengan – 20. Pada coupler, return loss ini dapat dilihat dari besarnya S11.

Daya yang dikirimkan dari sumber ke beban, ada yang direfleksikan kembali ke sumber, ada juga yang ditansfer ke beban. Namun daya yang ditransfer ke beban ini sebagian akan hilang karena komponen berbagai macam pada rangkaian. Loss yang dihasilkan karena sisipan transmisi di sepanjang sumber ke beban disuebut insertion loss. Jika daya ditransmisikan oleh sumber disebut PT dan daya yang diterima pada sumber disebut PR, maka insertion loss ini merupakan perbandingan antara PR dengan PT. terlihat jelas bahwa insertion loss akan selalu bernilai kurang dari 1. Jika ingin mendapatkan daya yang diterima pada beban sesuai dengan daya yang ditransmisikan maka nilai insertion loss haruslah mendekati 1, dalam decibel (dB) nilai insertion loss sebisa mungkin haruslah mendekati nilai 0.

7. **Bandwith**

Bandwidth dari sebuah coupler didefinisikan sebagai jarak dari frekuensi- frekuensi dimana performa (karakteristik-karakteristik) dari coupler sesuai dengan standar yang ditetapkan. Bandwidth suatu coupler juga dapat didefinisikan sebagai rentang frekuensi di mana kinerja coupler yang berhubungan dengan beberapa karakteristik (seperti VSWR, return loss) memenuhi spesifikasi standar. Pada coupler, bandwidth berdasarkan return loss, yaitu rentang frekuensi saat nilai return loss ≤ -10 dB. Pada bandwidth suatu coupler dilihat dengan cara menarik garis pada – 10 dB pada return lossnya. Bandwidth dinyatakan sebagai perbandingan antara frekuensi atas dan frekuensi bawah dalam level yang dapat diterima:

$$BW = \frac{f_h - f_1}{f_c} \times 100\% \quad (2.16)$$

Dengan f_h = frekuensi tertinggi (GHz)
f_1 = frekuensi terendah (GHz)
f_c = frekuensi tengah (GHz)

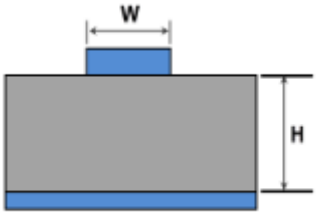
8. **Amplitudo Balance**
Terminologi ini mendefinisikan perbedaan power antara dua output port pada 3 dB hybrid. Pada rangkaian hybrid ideal, perbedaan yang terjadi harus 0 dB. Amplitude balance ini bergantung pada frekuensi kerja.

9. **Phase Balance**
Perbedaan fasa antara dua output port pada hybrid coupler dapat bernilai 0, 90, atau 180 derajat tergantung dari tipe yang digunakan. Tetapi, seperti amplitude balance, perbedaan sensitive fasa terhadap frekuensi input dan akan menyebabkan variasi beberapa derajat.

10. **Microsrtip BranchLine Coupler**
Panjang dari dimensi panjang (L) pada coupler *branchline coupler* biasanya dipilih ¼ dari desain *wavelenght*nya atau disebut dengan *quarterwavelenght.* Dalam mencari digunakan persamaan :

$$\lambda_g = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r} f} \qquad (2.17)$$

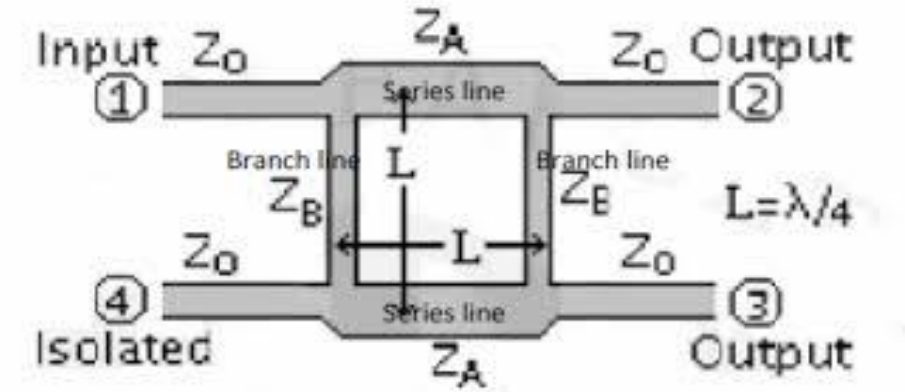
Dimana c adalah kecepatan cahaya pada udara (3 x 10^8 m/s
f adalah frekuensi kerja pada coupler
ε_r adalah konstanta dielektrik substrat



Gambar 2. 11 *Panjang branchline dan series line pada coupler*

Panjang dari series line dinyatakan dengan persamaan :

$$L = \frac{\lambda_g}{4} \tag{2.18}$$



Gambar 2. 12 Geometri pada *microstrip line* yang digunakan pada *branchline coupler.*

Pada gambar diatas bisa dilihat bahwa W adalah lebar dari *microstrip* dan H adalah tebal dari bahan substrat yang dipakai dan ε_r adalah konsanta dielektrik bahan substrat yang diapakai dalam simulasi dan fabrikasi *power divider*. Maka dalam menentukan nilai W digunakan persamaan :

$$A = \frac{Z_0}{60}\left(\frac{\varepsilon_{r+1}}{2}\right)^{1/2} + \frac{\varepsilon_{r-1}}{\varepsilon_{r+1}}\left(0.23 + \frac{0.11}{\varepsilon_r}\right) \tag{2.19}$$

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0\sqrt{\varepsilon_r}} \tag{2.20}$$

Dimana,

$$\frac{w}{h} = \frac{8e^a}{e^{2a}-2} \tag{2.20}$$

$$\frac{w}{h} = \frac{2}{\pi}\{B - 1 - \ln(2B - 1)\} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2\varepsilon_r}\left[lb(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\varepsilon_r}\right] \quad (2.21)$$

Pada pembuatan desain *branchline coupler* dengan nilai *output port* yang berbeda maka digunakan persamaan khusus sebagai berikut :

$$Z_0A = Z_0\left[\frac{\frac{P_A}{P_B}}{1+\frac{P_A}{P_B}}\right]^{0.5} \quad (2.22)$$

$$Z_0B = Z_0\left[\frac{P_A}{P_B}\right]^{0.5} \quad (2.23)$$

ketika PA lebih besar dari PB (Z0A dan Z0B adalah impedansi lebih tinggi daripada di branchline yang sama-split) dan ketika PA kurang dari PB (Z0A dan Z0B adalah impedansi yang lebih rendah daripada di branchline yang sama-split).

2.9 *Instrumen Perancangan dan Pengukuran*

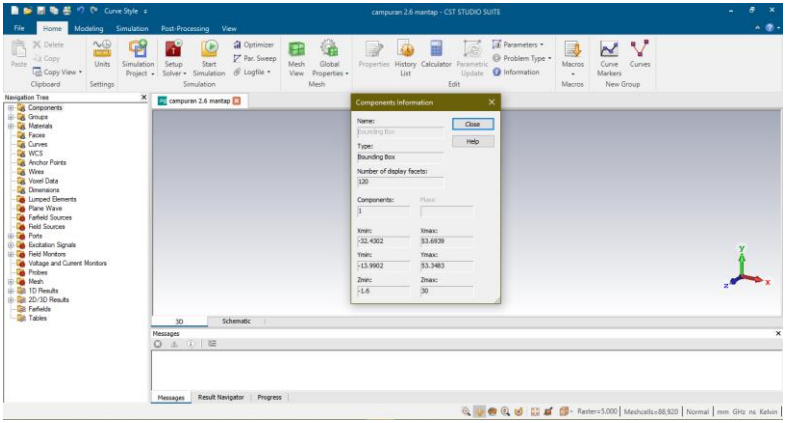
Dalam perancangan *power divider* yang pertama yang perlu dilakukan adalah membuat rancangannya dengan menggunakan aplikasi simulasi. Ketika desain yang telah dibuat dirasa sudah memenuhi parameter yang ditentukan, maka akan dilakukan fabrikasi. Hasil desain yang telah difabrikasi nantinya akan diukur atau diuji dengan menggunakan beberapa perangkat.

2.9.1 CST Studio Suite

Cst studio suite merupakan sebuah software untuk membuat desain tiga dimensi dari gelombang elektromagnetik guna analisis dan optimasi perangkat telekomunikasi. Beberapa contoh perangkat elektromagnetik yang bisa dibuat di cst studio suite adalah antena dan power divider.

Kelebihan dari aplikasi Cst Studio Suite adalah dapat mensimulasikan desain yang dibuat dengan sangat baik, mulai dari bagian terkecil seperti kompenen sampai sebuah sistem yang komplek. CST Studio Suite ini pun bisa dibilang memiliki *user interface* yang mudah dipahami dan mudah digunakan oleh kalangan umum. Pada software *CST Studio Suite* kita bisa membuat

atau mendesain banyak komponen telekomunikasi dan juga bisa mengalisisnya. Kita bisa membuat desain antena mikrostrip *array.*



Gambar 2. 13 *Tampilan* user interface *CST Studio Suite*

2.9.2 Network Analyzer

Network Analyzer adalah sebuah perangkat telekomunikasi yang digunakan untuk mengukur atau menguji *power divider.* Parameter yang dapat diukur *scattering parameter,* VSWR, *bandwith,* dan impedansi. Network Analyzer yang digunakan dalam pengukuran *power divider* dalam tugas akhir ini adalah *Agilent* N9923A *Fieldfox* RF *Vector Network Analyzer.* Network Analyzer ini dapat mengukur mulai dari rentang 2MHz sampai 6 GHz.

Gambar 2. 14 Agilent *N9923A* Fieldfox *RF* Vector Network Analyzer

2.9.3 Kabel dan Konektor

Kabel dan konektor dibutuhkan dalam pengukuran *power divider.* Kabel dua perangkat ini berguna untuk menguhubungkan *power divider* dengan *Netwrok Analyzer*. Kabel yang digunakan dalam pengujian *power divider* adalah kabel RG8, nantinya kabel RG8 ini akan dihubungkan ke port di *power divider* yang nantinya disambungkan ke *Network Analyzer*.

Gambar 2. 15 *Kabel Jumper RG8*

Konektor yang digunakan pada *power divider* adalah konektor SMA Female. Konektor ini digunakan sebagai port yang berperan sebagai saluran transmisi dan nantinya akan dihubungkan ke *Network Analyzer* pada saat pengukuran. Sedangkan konektor yang digunakan sebagai penghubung konektor SMA Female dengan *Network Analyzer* adalah konektor N-Male. Konektor N-Male ini terdapat pada kabel RG8.

(a) (b)

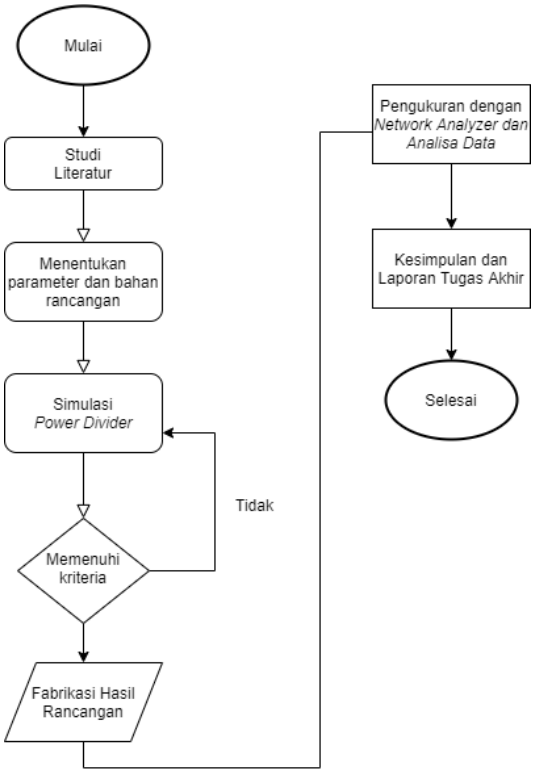
Gambar 2. 16 *konektor SMA Female (a) dan konektor N-Male (b)*

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Perancangan

Pada gambar diagram dibawah ini menjelaskan bagaimana tahapan proses berjalannya perancangan dan realisasi *power divider* dalam tugas akhir ini.



Gambar 3. 1 *Diagram Alir Metode Penelitian*

3.2 Spesifikasi Rancangan

Power divider yang akan direalisasikan pada tugas akhir ini adalah power divider dengan 1 port input dan 4 port output yang akan diimplementasikan pada sistem BTS 5G. Hal ini ditujukan agar dalam sistem BTS 5G lebih efisien penggunaan *power divider.* Berikut spesifikasi *power divider* yang akan difabrikasikan.

Tabel 3. 1 *Spesifikasi rancangan* power divider

Parameter	*Power combiner/divider* 1 *to* 4
Frekuensi kerja	2-4 GHz
Return loss	$\leq -10\ dB$
Insertion loss	$\geq -10\ dB$ (toleransi $\leq 1\ dB$)

Bahan yang digunakan dalam perancangan *power divider* ini adalah PCB jenis FR4 karena mudah didapatkan, murah dan memiliki konstanta dielektrik yang tinggi. Berikut spesifikasi bahan FR4 pada perancangan.

Tabel 3. 2 Spesifikasi PCB FR4

Spesifikasi	Nilai
Permitivitas bahan (ε_r)	4,3
Tebal substrat (h)	1,6 mm
Tebal konduktor	0,035 mm

3.3 Perancangan Secara Teoritis

Dala perancangan *power divider* diperlukan adanya perhitungan secara matematis untuk mendapatkan hasil yang maksimal dalam simulasi dan pengujian secara langsung. Pada perancangan *power divider* dalam Tugas Akhir ini digunakan rancangan dari *paper* [11] sebagi refrensi perancangan *power divider* 1 to 4 untuk aplikasi BTS 5G. Perancangan ini diperlukan agar bisa mendapatkan hasil yang maksimal untuk memenuhi parameter yang diinginkan baik dari parameter frekuensi maupun *loss* pada perancangan *power divider.*

3.3.1 Perancangan power divider equal Branchline coupler

Pada perancangan *power divider* untuk tugas akhir ini menggunakan bahan FR4 dengan permivitas bahan $\varepsilon_r = 4{,}3$. Tebal substrat (h) = 1,6 mm dan Tebal Konduktr = 0,035mm. Perancangan menggunakan persamaan (2.17) dan (2.18).

$$\lambda_g = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r} f}$$

$$\lambda_g = \frac{3 \text{ x } 10^8 m/s}{\sqrt{4{,}3} \;\; 2{,}6 \text{ x } 10^9} = 0.0636 \text{ m} = 63.6 \text{ mm}$$

Quarter wavelenght :

$$L = \frac{\lambda_g}{4}$$

$$L = \frac{63.6mm}{4} = 15.9 \text{ mm}$$

Besar nilai yang didapatkan dari perhitungan diatas nantinya akan dipakai dalam semua desain *power divider Branchline Coupler* untuk saluran impedansi 50Ω dan 35Ω pada Tugas Akhir ini.

Pada impedansi 50Ω untuk menghitung nilai *w* maka digunakan persamaan besarnya rasio *w/h* (2.19) dan (2.20).

$$A = \frac{Z_0}{60}\left(\frac{\varepsilon_{r+1}}{2}\right)^{1/2} + \frac{\varepsilon_{r-1}}{\varepsilon_{r+1}}\left(0.23 + \frac{0.11}{\varepsilon_r}\right)$$

$$A = \frac{50}{60}\left(\frac{4.3+1}{2}\right)^{1/2} + \frac{4.3-1}{4.3+1}\left(0.23 + \frac{0.11}{4.3}\right)$$

$$= 1.508$$

$$\frac{w}{h} = \frac{8e^a}{e^{2a} - 2}$$

$$\frac{w}{h} = \frac{8e^{1.508}}{e^{2 \text{ x } 1.508} - 2}$$

$$\frac{w}{h} = 1.94$$

$$\frac{w}{h} = 1.944$$

Setelah diketahui besar rasio $\frac{w}{h} = 1.944$ dan ketebalan substrat sebesar 1.6 mm maka nilai w dalam impedansi 50Ω adalah sebesar 3.111 mm.

Pada impedansi 35Ω atau dalam desain *branchline coupler* nilainya adalah $\frac{Z_0}{\sqrt{2}}$ karena nilai *L* nya sama maka kita tinggal menghitung nilai *W* nya saja. Dengan menggunakan persamaan yang sama seperti sebelumnya.

$$A = \frac{Z_0}{60}\left(\frac{\varepsilon_{r+1}}{2}\right)^{1/2} + \frac{\varepsilon_{r-1}}{\varepsilon_{r+1}}\left(0.23 + \frac{0.11}{\varepsilon_r}\right)$$

$$A = \frac{35}{60}\left(\frac{4.3+1}{2}\right)^{1/2} + \frac{4.3-1}{4.3+1}\left(0.23 + \frac{0.11}{4.3}\right)$$
$$= 1.107$$

Setelah diketahui nilai dari *A* kita lalu mencari nilai rasio yaitu sebesar 1.107 kita akan mencari nilai perbandingan dari $\frac{w}{h}$ dengan menggunakan persamaan yang sama seperti sebelumnya.

$$\frac{w}{h} = \frac{8e^{a}}{e^{2a} - 2}$$

$$\frac{w}{h} = \frac{8e^{1.107}}{e^{2 \text{ x } 1.107} - 2}$$

$$\frac{w}{h} = 3.383$$

Setelah ditemukan nilai rasio dari $\frac{w}{h} = 3.383$ dan ketebalan substrat sebesar 1.6mm maka dapat diketahui bahwa nilai dari *w* untuk impedansi 35Ω adalah sebesar 5.302mm.

Jadi parameter fisik untuk *power divider* ini adalah sebagi berikut :

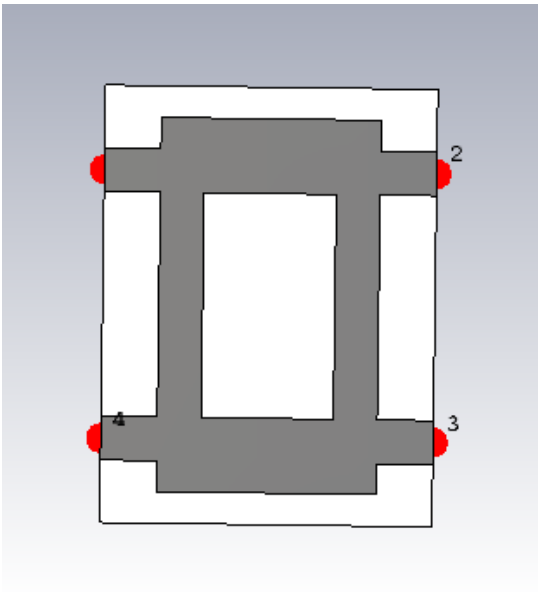
50Ω

W= 3.111 mm
L= 15.9 mm

35Ω

W= 5.302 mm
L= 15.9 mm

Setelah didapatkan nilai *W dan L* dari masing masing saluran impedansi maka kita siap untuk membuat desainnya di *CST Studio Suite.* Diperolehlah desain sebagai berikut.



Gambar 3. 2 *desain* equal power divider 1 to 2

Desain yang kita buat diatas adalah desain dimana hasil akhir atau output yang didapatkan adalah sama di semua portnya.

3.3.2 Perancangan power divider unequal Branchline coupler

Rancangan *power divider* yang dibutuhkan dalam Tugas Akhir ini adalah *power divider* 1 to 4 dengan output yang beda. Maka dari itu dibuat juga desain *power divider* yang memiliki beda output dengan perhitungan dimensi sebagai berikut.

Menentukan perbandingan antara Z_0A dan Z_0B dengan menetukan besarnya nilai Pa adalah ¾ dan Pb adalah ¼ menggunakan persamaan (2.22) dan (2.23).

Perhitungan nilai Z_0A

$$Z_0A = Z_0\left[\frac{\frac{P_A}{P_B}}{1+\frac{P_A}{P_B}}\right]^{0.5}$$

$$Z_0A = Z_0\left[\frac{\frac{\frac{3}{4}}{\frac{1}{4}}}{1+\frac{\frac{3}{4}}{\frac{1}{4}}}\right]^{0.5}$$

$$Z_0A = Z_0\sqrt{\frac{3}{4}}$$

Perhitungan nilai Z_0B

$$Z_0B = Z_0\left[\frac{P_A}{P_B}\right]^{0.5}$$

$$Z_0B = Z_0\left[\frac{\frac{3}{4}}{\frac{1}{4}}\right]^{0.5}$$

$$Z_0B = Z_0\sqrt{3}$$

Dengan menggunakan metode yang sama, nilai frekuensi kerja dan nilai dari bahan substrat juga sama maka bisa disimpulkan bahwa besarnya nilai *L* pada unequal branchline coupler yang didesain pun juga sama yaitu sebesar 15.9 mm. Dengan ini kita hanya perlu menghitung nilai *W* dari Z_0A dan Z_0B dengan menggunakan persamaan yang sama pada *equal branchline coupler* yaitu persamaan (2.19) dan (2.20).

Pada Z_0A :

$$A = \frac{Z_0}{60}\left(\frac{\varepsilon_{r+1}}{2}\right)^{1/2} + \frac{\varepsilon_{r-1}}{\varepsilon_{r+1}}\left(0.23 + \frac{0.11}{\varepsilon_r}\right)$$

$$A = \frac{50\sqrt{\frac{3}{4}}}{60}\left(\frac{4.3_{+1}}{2}\right)^{1/2} + \frac{4.3_{-1}}{4.3_{+1}}\left(0.23 + \frac{0.11}{4.3}\right)$$

$$A = 1.331$$

Perhitungan nilai *W* :

$$\frac{w}{h} = \frac{8e^{a}}{e^{2a} - 2}$$

$$\frac{w}{h} = \frac{8e^{1.331}}{e^{2\text{ x }1.331} - 2}$$

$$\frac{w}{h} = 2.451$$

Jadi nilai *W* untuk Z_0A adalah 3.9221mm

Pada Z_0B :

$$A = \frac{Z_0}{60}\left(\frac{\varepsilon_{r+1}}{2}\right)^{1/2} + \frac{\varepsilon_{r-1}}{\varepsilon_{r+1}}\left(0.23 + \frac{0.11}{\varepsilon_r}\right)$$

$$A = \frac{50\sqrt{3}}{60}\left(\frac{4.3_{+1}}{2}\right)^{1/2} + \frac{4.3_{-1}}{4.3_{+1}}\left(0.23 + \frac{0.11}{4.3}\right)$$

$$A = 2.505$$

Perhitungan nilai W :

$$\frac{w}{h} = \frac{8e^{a}}{e^{2a} - 2}$$

$$\frac{w}{h} = \frac{8e^{2.505}}{e^{2 \text{ x } 2.505} - 2}$$

$$\frac{w}{h} = 0.659$$

Jadi nilai W untuk Z_0B adalah 1.055 mm.

Kita telah mendapatkan semua nilai dari parameter fisik dari *Unequal Branchline Coupler* sebagai berikut.

Pada Z_0A

W= 3.9221 mm

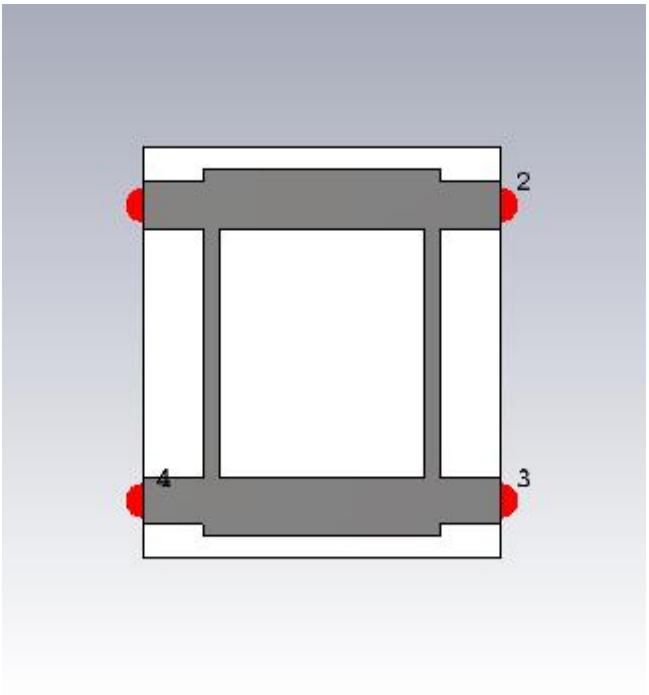
L= 15.9 mm

Pada Z_0B

W= 1.055mm

L=15.9mm

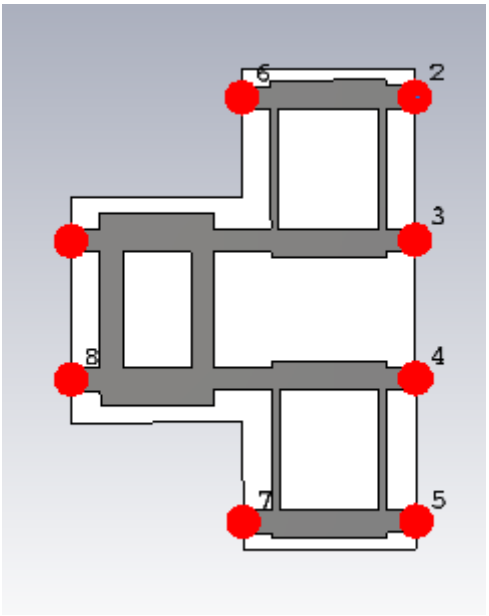
Selanjutnya kita mensimulasikan semua nilai parameter fisik di *CST Studio Suite* untuk mendapatkan gambar dari unequal *power divider branchline coupler*. Menghasilkan gambar sebagai berikut.



Gambar 3. 3 *desain* unequal power divider 1 to 2

3.3.3 Perancangan Desain *Unequal Power Divider Branch line Coupler 1 to 4*

Setelah kita membuat desain *equal dan unequal Branchline Coupler* sekarang kita akan menggabungkan kedua desain tersebut sehingga akan terbentuk desain dari *Unequal Power Divider Branchline Coupler* dengan menggunakan parameter yang sama seperti yang ada di *equal* dan *unequal branchline coupler.* Cara menggagungkan kedua desain tersebut adalah dengan menggunakan software *CST Studio Suite.* Lalu hasil akhir dari desainnya menjadi sebagi berikut.



Gambar 3. 4 *Desain* unequal power divider 1 to 4

3.4 Fabrikasi dan Pengukuran *Power Divider*

Sebelum melakukan fabrikasi pastikan rancangan *power divider* 1 to 4 sudah memenuhi parameter yang sudah ditetapkan. Setelah fabrikasi, dilakukan pemasangan konektor SMA Female pada semua port *power divider* sebelum dilakukan pengukuran.

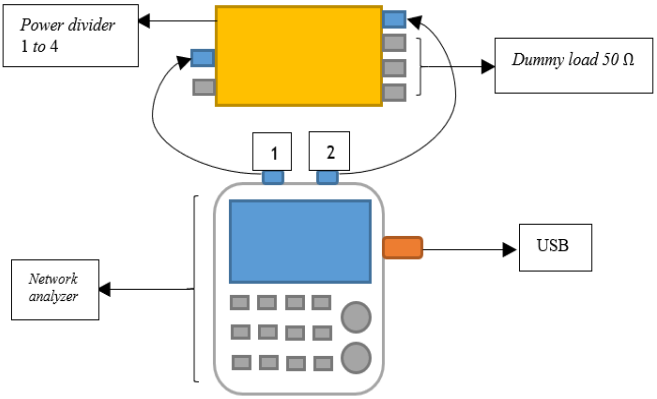
Pengukuran *power divider* dilakukan dengan menggunakan alat instrumen bernama *network analyzer* (NA) *Agilent* N9923A *fieldfox* untuk mengetahui apakah hasilnya sesuai dengan yang diharapkan. Analisis yang dilakukan ketika pengukuran adalah s-parameter dan fase respon *power divider.* Pengukuran dilakukan di Labolatorium Antena dan Propagasi Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Pengukuran harus dilakukan di luar ruangan agar terhindar interferensi dari perangkat elektromagnetik. Karena interferensi yang disebabkan oleh perangkat elektromagnetik bisa menyebabkan hasil yang didapatkan menjadi tidak akurat. Pengukuran dilakukan dengan 2 port disambungkan

ke *network analyzer* dan port yang tidak diukur diberikan beban sebesar 50Ω. Hasil dari pengukuran ini akan berbentuk gambar grafik dan data tabel informasi dengan format *comma separate value* (.csv).

Langkah-langkah yang perlu dilakukan ketika melakukan pengukuran *powe divider* adalah sebagai berikut:

- Mempersiapkan instrumen-instrumen yang diperlukan untuk pengukuran *power divider* seperti, *network analyzer*, *flash disk, dummy load* 50 Ω dan *power divider* yang sudah dipasangkan konektor pada tiap *port.*
- Menentukan rentang frekuensi kerja pada perangkat *network analyzer.*
- Melakukan kalibrasi terhadap kabel yang akan digunakan pada proses pengukuran dengan cara menghubungkan kedua kabel tersebut pada *port network analyzer* sehingga didapatkan *loss* dari kabel tersebut. Hal ini perlu dilakukan untuk mengkompensasi hasil pengukuran terhadap pengaruh penambahan kabel.
- Pada pengukuran *return loss* (S_{11}), *port input* pada *power divider* dihubungkan dengan kabel dari *port network analyzer*. Sedangkan tiap *port output* pada *power divider* diterminasi dengan beban 50 Ω menggunakan *dummy load* 50 Ω. Hal tersebut dilakukan untuk mendapatkan kondisi yang *match* pada *power divider*.
- Pada pengukuran *insertion loss* (S_{21}, S_{31}, S_{41}, dan S_{51}), *port input* pada *power divider* dihubungkan dengan kabel dari *port network analyzer*. *Port output* pada *power divider* yang digunakan pada pengukuran juga dihubungkan dengan kabel dari *port network analyzer*, sedangkan *port output* pada *power divider* yang tidak terpakai diterminasi dengan beban 50 Ω menggunakan *dummy load* 50 Ω. Hal tersebut dilakukan agar tidak terjadi sinyal pantulan pada *port* tersebut akibat kondisi *mismatch* yang dapat memberikan pengaruh pada *port* lainnya. Konfigurasi pengukuran *insertion loss power divider* menggunakan *network analyzer* ditunjukkan pada gambar 3.11
- Setelah hasil pengukuran ditampilkan pada layar *network analyzer*, format data hasil pengukuran dapat diubah-ubah sehingga dapat dilihat hasil s-parameter dan juga respon fase dari pengukuran *power divider.*

- Pada hasil pengukuran juga dapat ditambahkan *marker* (max. 6 *marker*) pada perangkat *network analyzer* untuk menandakan hasil pengukuran pada frekuensi yang kita inginkan dan juga untuk mempermudah analisis kinerja pada *power divider*.
- Hasil pengukuran tersebut dapat disimpan menggunakan *flash disk* yang dipasang pada perangkat *network analyzer* dalam bentuk grafik dan data tabel dengan format *comma separate value* (.csv).



Gambar 3. 5 *Konfigurasi Pengukuran* Insertion Loss Power Divider dengan Network Analyzer

BAB 4

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Simulasi *Power Divider* 1 *to* 2

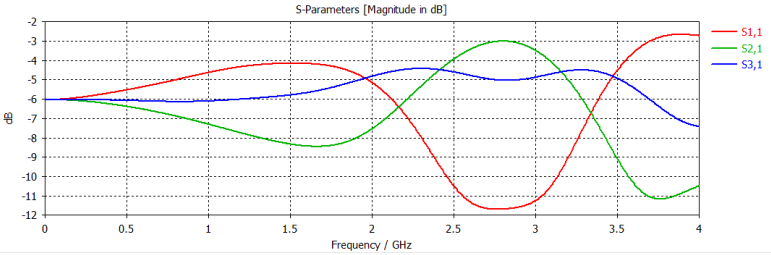
Perancangan *power divider* 1 to 2 diawali dengan membuat rancangan *power divider* dengan cara menduplikasi dari *paper* refrensi. Dalam tugas akhir ini saya membuat dua *power divider* yaitu yang pertama adalah *power divider equal branchline coupler* dan *power divider unequal branchline coupler* kedua sama-sama menggunakan bahan FR4 dan menggunakan metode *Branchline Coupler*. Simulasi dilakukan dengan menggunakan aplikasi *CST Studio Suite.* Setelah hasil simulasi sudah memenuhi parameter yang ditentukan, maka bisa dilakukan fabrikasi dan dapat dijadikan refrensi untuk pengembangan *power divider* 1 to 4.

4.1.1 Hasil Simulasi *Equal Branch line Coupler* 1 to 2

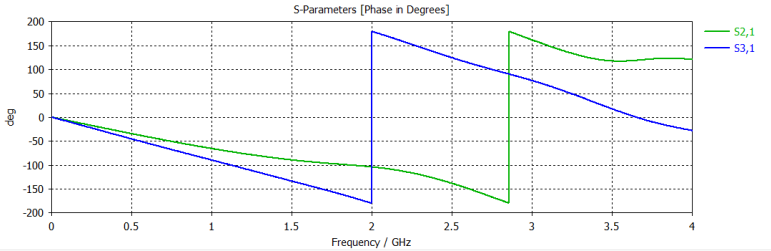
pada perancangan *power divider* 1 to 2 berdasarkan refrensi dimana pada refrensi tersebut. Semua parameter yang dimasukkan ke dalam *software* simulasi disamakan karena dalam *equal branch line coupler* yang digunakan adalah model *basic* sesuai dengan refrensi yang nantinya diharapkan memiliki hasil yang sama pula. Perbedaan terletak pada *software* yang digunakan, dalam *refrensi* menggunakan *software "Eagleware"* tapi dalam perancangan di tugas akhir ini menggunakan *software CST Studio Suite.* Perancangan *power divider* menggunakan bahan FR4.

Hasil simulasi *equal power divider* bisa dilihat di gambar 4.1 (a). Pada hasil simulasi *equal power divider* menghasilkan *return loss* ≤ -10 dB pada rentang frekuensi 2,46-3,13 GHz. Pada rentang frekuensi tersebut dapat dilihat bahwa terjadi keseimbangan daya *output* yang dihasilkan oleh *power divider* yang bernilai -3,6±0,4 dB.

Respon fase yang dihasilkan oleh *output port power divider* yang dilihat dari S_{21} dan S_{31} pada gambar 4.1(b). Fase gelombang akan bergeser sesuai dengan frekuensi dari kedua *output port* yang menunjukan bahwa terjadi keseragaman atau tidak adanya beda fase antara kedua *output port.*



(a)



(b)

Gambar 4. 1 *Hasil Simulasi Rancangan* Power Divider *(a) Respon Magnitude S-parameter (b) Respon Fase* Port Output

Hasil simulasi dari *Equal Branchline Coupler* dijadikan refrensi dalam fabrikasi *Power Divider Branchline Coupler 1 to 4* karena menghasilkan nilai yang sudah sesuai dengan apa yang diharapkan dan nantinya akan digabungkan dengan desain *Unequal Branchline Coupler.* Dari hasil ini menunjukan bahwa pada *power divider 1 to 2* menghasilkan nilai output pada tiap port yang sama besarnya 1/3 dari total daya dari pada tiap port output dan sebesar 1/3 dari total daya menjadi *loss.* Hasil dari perancangan *Equal Branchline Coupler 1 to 2* dirangkum dalam tabel berikut:

Tabel 4. 1 *Hasil Rancangan Equal Power Divider 1 to 2*

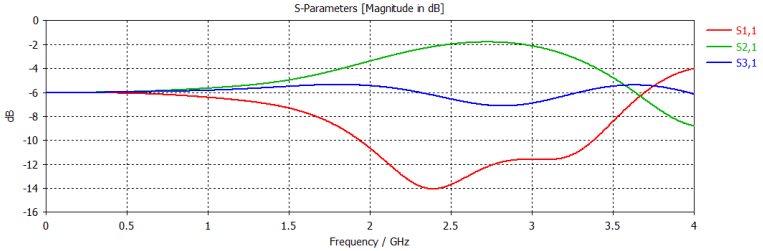
Parameter	*Equal Branchline Coupler*
Frekuensi kerja	2,46-3,13 GHz
Bahan substrat	FR4
Return loss	$\leq -10\ dB$
Insertion loss	$\geq -6\ dB$ (Toleransi $\leq 0{,}5\ dB$)
Dimensi	31,06 × 23,58 mm

4.1.2 Hasil Simulasi *Unequal Branchline Coupler* 1 to 2

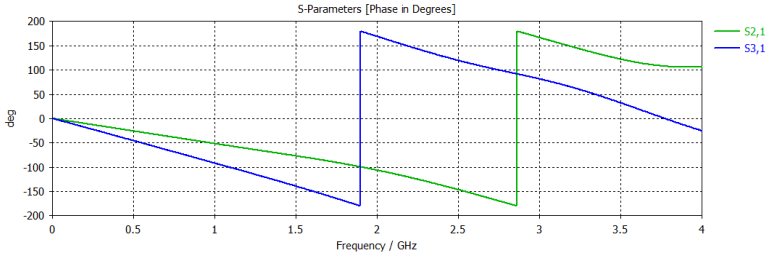
pada perancangan *unequal branchline coupler* 1 to 2 berdasarkan refrensi dimana pada refrensi tersebut. Dalam simulasi ini *unequal branchline coupler* dimodifikasi sedemikian rupa agar bisa mendapatkan hasil yang optimal seperti yang diharapkan. Selain dari parameter perbedaan yang lainnya terletak pada *software* yang digunakan, dalam *refrensi* menggunakan *software "Eagleware"* tapi dalam perancangan di tugas akhir ini menggunakan *software CST Studio Suite.* Perancangan *power divider* menggunakan bahan FR4.

Hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 4.2 (a). Pada hasil simulasi *Unequal Branchline Coupler* dapat dilihat bahwa *return loss* ≤ -10 dB pada rentang frekuensi 1,96-3,36 GHz. Pada gambar bisa dilihat bahwa terjadi berbedaan nilai *output port* yang disebabkan oleh modifikasi pada pembagian daya. Perbedaan nilai *output* pada tiap *port* bernilai 1/3 dari nilai *output port* lainnya.

Respon fase yang dihasilkan oleh *ouput port* S_{21} dan S_{31} pada gambar 4.2 (b) juga mengalami hal serupa, dimana terjadi perbedaan nilai. Nilai yang ditampilkan sudah sesuai dengan parameter yang ditentukan.perbedaan ini terjadi karena adanya perbedaan fase dan perbedaan impedansi sehingga menyebabkan perubahan nilai. Tetapi perubahan nilai disini sudah sesuai dengan apa yang diharapkan pada parameter pengukuran karena sudah memenuhi nilai-nilai yang ditentukan seperti nilai dari *return loss* dan nilai *insertion loss* yang sesuai



(a)



(b)

Gambar 4. 2 *Hasil Simulasi Rancangan* Power Divider *(a) Respon Magnitude S-parameter (b) Respon Fase* Port Output

Hasil simulasi dari *unequal branchline coupler* ini nantinya akan difabrikasi dan digabungkan dengan desain *equal branchline coupler* dan dijadikan satu bentuk *power divider unequal branchline coupler 1 to 4.*Pada hasil simulasi bisa dilihat bahwa nilai dari *unequal branchline coupler* memiliki perbedaan nilai pada *output port*nya. Hal ini disebabkan oleh perbedaan nilai impedansi yang sudah dihitung pada bab 3. Dimana perbedaan nilai impedansi ini menyebabkan perbedaan nilai yang muncul dimana pada *port* 2 nilai *output port* nya sebesar 0,75 dari nilai input, sedangkan untuk nilai *output port* pada *port* 3 memiliki nilai 0,33 dari nilai input. Dan hasil dari semua *output port* nilainya sudah ≥-10dB dan ini sudah memenuhi dari parameter yang sudah ditentukan dan nilai ini bisa digunakan untuk acuan mendesain *power dividier 1 to 4* dengan metode *branchline coupler* pada tugas akhir ini . Hasil dari perancangan *Unequal Branchline Coupler 1 to 2* dirangkum dalam tabel berikut:

Tabel 4. 2 *Hasil Rancangan Unequal Power Divider 1 to 2*

Parameter	*Unequal Branchline Coupler*
Frekuensi kerja	1,96-3,36 GHz
Bahan substrat	FR4
Return loss	$\leq -10\ dB$
Insertion loss	$\geq -6\ dB$ (Toleransi $\leq 0{,}5\ dB$)
Ratio perbandingan nilai output	1/3 db
Dimensi	27,79 ×27,36 mm

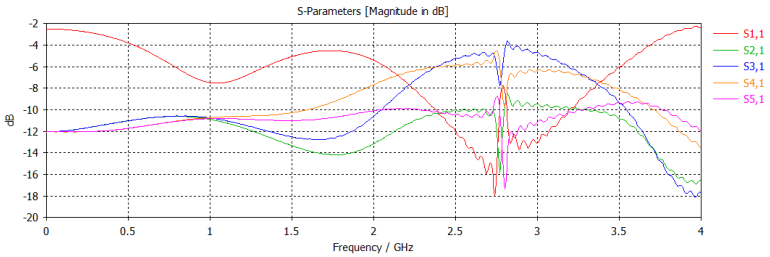
4.2 Hasil Simulasi *Power Divider 1 to 4*

Pada perancangan *power divider 1 to 4* dilakukan dengan cara menggabungkan desain *Equal Branchline Coupler* dan *Unequal Branchline Coupler*, dimana nantinya akan mendapatkan hasil perbedaan nilai antara *port output*. Penggabungan dilakukan di *software CST Studio Suite* dengan menggunakan bahan FR4 yang memiliki nilai $\varepsilon_r = 4{,}3$ dengan ketebalan substrat 1,6 mm.

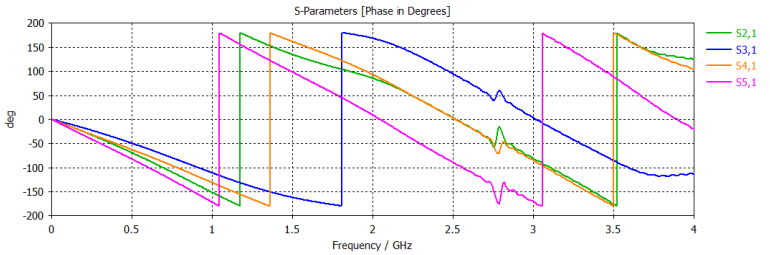
Hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 4.3(a). pada hasil yang didapatkan dari penggabungan *equal branchline coupler* dan *unequal branchline coupler* menunjukan bahwa nilai *return loss* ≤ -10 dB pada frekuensi 2,38 – 2,76 GHz dan frekuensi 2,81 – 3,19 GHz. Dari hasil tersebut ditunjukkan rentang frekuensi kerja yang didapatkan sudah memenuhi spesifikasi perancangan. Pada grafik tersebut juga menunjukkan nilai *insertion loss* dari port S_{21} memiliki nilai yang sama dengan port S_{51} tetapai memiliki perbedaan dengan port S_{31} dan port S_{41}. Perbedaan ini disebabkan oleh perhitungan nilai *output port* pada *unequal branchline coupler*. Pada frekuensi 2,748-2,792 GHz nilai *insertion loss* pada S_{21} terjadi penurunan ke nilai dibawah -10 dB. Pada frekuensi 2,776-3,124 GHz nilai *insertion loss* pada S_{51} terjadi penurunan. Hal ini disebabkan karena ada masalah isolasi yang masih tinggi pada setiap *port output*. Maka dari itu perlu adanya penelitian yang lebih lanjut terkait

memperbaiki nilai isolasi pada pembuatan *power divider* dengan metode *branchline coupler.*

Fase respon yang dihasilkan oleh *output port* S_{21}, S_{31}, S_{41}, dan S_{51} mengalami perbedaan nilai. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan nilai reaktansi (induktansi dan kapasitansi) dari impedansi beban pada setiap *output port*.



(a)



(b)

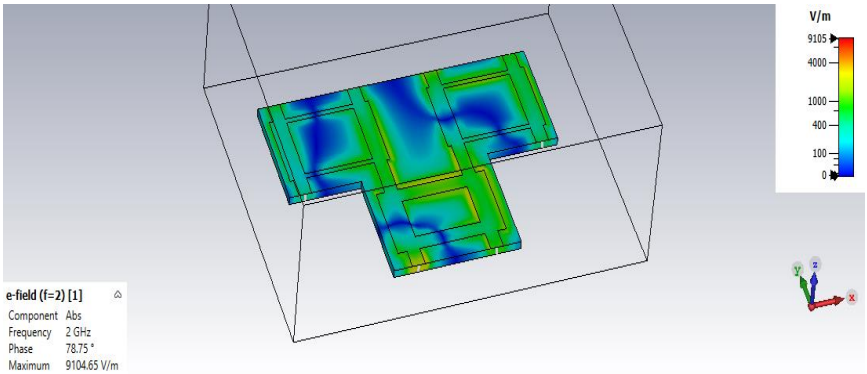
Gambar 4. 3 *Hasil Simulasi Rancangan* Power Divider *(a) Respon Magnitude S-parameter (b) Respon Fase* Port Output

Dari hasil simulasi didapatkan hasil bahwa *power divider 1 to 4* bekerja paling optimum pada frekuensi karena nilai *return loss* yang bernilai -15dB dan nilai *insertion loss* bernilai ≤-10dB. Pada frekuensi 2,6 GHz ditunjukan bahwa nilai *output* yang keluar dari setiap *port* berbeda. Hasil simulasi pada *power divider 1 to 4* dirangkum dalam tabel berikut:

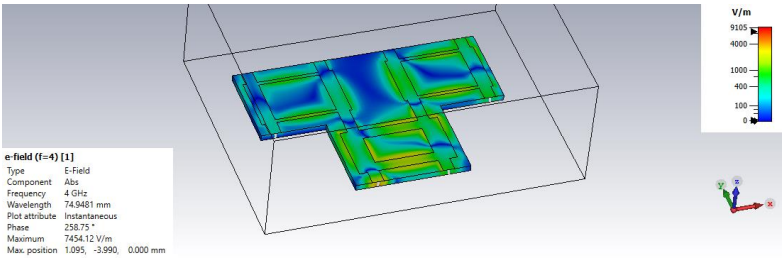
Tabel 4. 3 Hasil simulasi *power divide 1 to 4*

Parameter	Hasil
Frekuensi kerja	2,38 – 2,76 GHz dan 2,81 – 3,19 GHz
S_{11} pada 2,6 GHz	-13,49 dB
S_{21} pada 2,6 GHz	-9,99 dB
S_{31} pada 2,6 GHz	-4,85 dB
S_{41} pada 2,6 GHz	-5,84 dB
S_{51} pada 2,6 GHz	-10 dB

Pada simulasi *power divider* kita juga bisa melihat bagaimana pola distribusi medan elektromagnetiknya. Identifikasi mode propagasi dilakukan dengan menggunakan *software CST Studio Suite* dengan menampilkan pola medan listrik (*E*) dan medan magnetik (*H*). Simulasi dilakukan pada frekuensi 2 GHz dan 4 GHz. Hasil simulasi menunjukan pola medan *E* gambar 4.4 dan medan *H* gambar 4.5. Dibawah ini adalah gambar distribusi medan *E* dan *H* dari desain *power divider.*

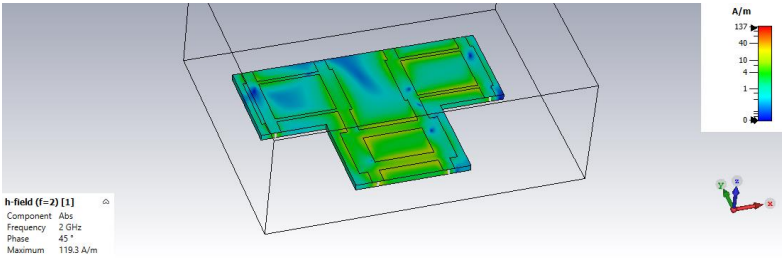


Gambar 4. 4 Pola medan *E* dalam struktur *Branchline Coupler* 2 GHz

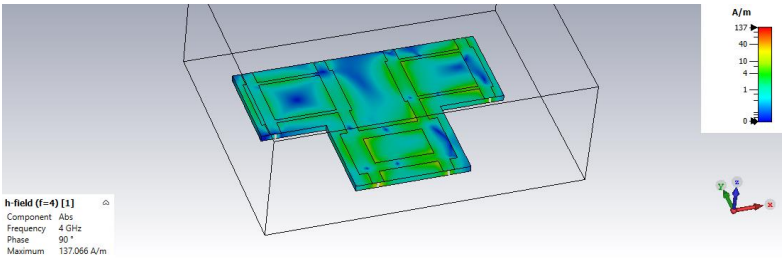


(b)

Gambar 4. 5 Pola medan *E* dalam struktur *Branchline Coupler* 4 GHz



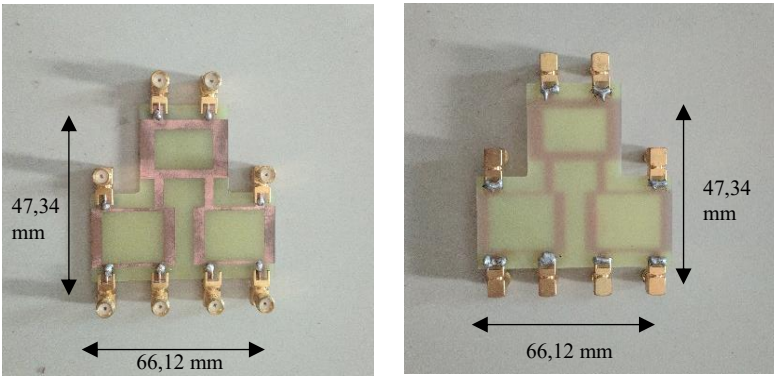
Gambar 4. 6 Pola medan H dalam struktur *Branchline Coupler* 2 GHz



Gambar 4. 7 Pola medan H dalam struktur *Branchline Coupler* 4 GHz

4.3 Hasil Fabrikasi dan Pengukuran

Setelah dilakukan simulasi menggunakan *software CST Studio Suite* dan hasil sudah sesuai dengan parameter yang diinginkan maka setelah itu dilakukan fabrikasi kepada desain *power divider* tersebut. Hasil fabrikasi dari simulasi *power divider* dapat dilihat pada gambar 4.4 hasil fabrikasi memiliki dimensi 47,34mm x 66,12mm



(a) (b)

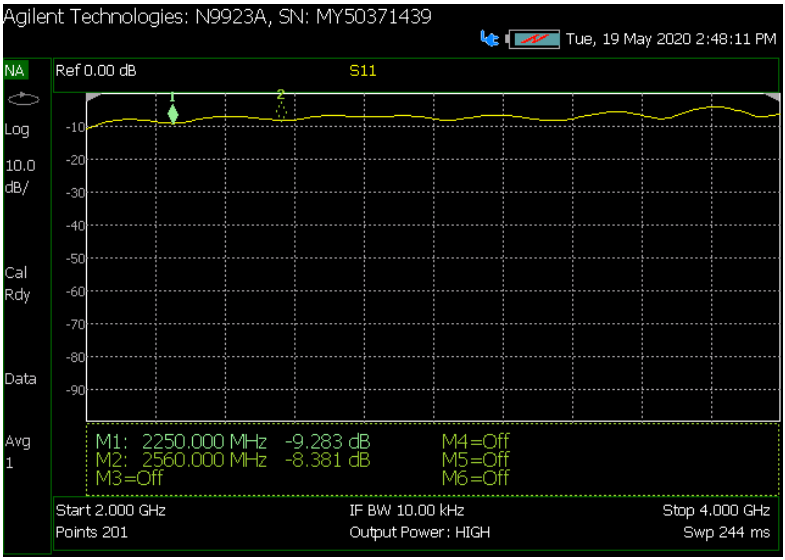
Gambar 4. 8 *penampang depan (a) penampang belakang (b) hasil fabrikasi* power divider 1 to 4

Hasil fabrikasi akan dilakukan pengukuran dengan menggunakan isntrumen telekomunikasi yang dinamakan *network analyzer* (NA) *Agilent* N9923A *fieldfox* untuk mengetahui karakteristik *power divider 1 to 4* dengan menganalisa s-parameter dan fase respon. Pengukuran dilakukan di Labolatorium Antena dan Propagasi Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Pengukuran dilakukan dengan menghubungkan 2 *port* dengan *network analyzer* dan sisa *port* lainnya dipasangkan dengan dummy load dengan impedansi 50Ω. Hal pertama yang dilakukan adalah menghitung *loss* pada kabel pada *network analyzer* dan didapatkan nilai *loss* sebesar 0,5 dB. Karena kabel yang digunakan dalam pengukuran sebanyak 2 buah maka nilai *loss* nya ditambahkan berarti nilai *loss* dari kedua kabel RG8 adalah sebesar 1 dB. Nilai *loss* dari kabel RG8 yang digunakan untuk pengukuran nantinya akan digunakan untuk mengkompensasi hasil pengukuran *power divider*.

Gambar 4. 9 Proses pengukuran *power divider 1 to 4* dengan menggunakan *network analyzer*

Hasil pengukuran *power divider* dengan menggunakan *network analyzer* ditunjukan pada gambar 4.8 dari hasil pengukuran tersebut nilai yang dihasilkan berbeda jauh dengan nilai simulasi. Nilai *return loss* yang dihasilkan > -10dB pada rentang frekuensi 2,19-2,84 GHz dan 3,07-3,86 GHz. Nilai *return loss* terkecil pada *power divider 1 to 4* adalah senilai -9 dB pada frekuensi 2,2 GHz. Pada simulasi pada frekuensi 2,6 GHz nilai *return loss* sebesar -13dB, hal ini menyebabkan terjadinya perbedaan yang cukup besar antara hasil simulasi dengan hasil pengukuran fabrikasi *power divider 1 to 4*.

Nilai yang ditampilkan pada *network analyzer* belum ditambahkan dengan nilai kompensasi dari kabel yang bernilai 1dB. Jika ditambahkan maka nilainya menjadi -8 dB. Nilai ini masih kurang maksimal karena nilai yang didapatkan belum sesuai dengan parameter yang ditentukan karena nilai yang diharapkan muncul adalah nilai dibawah -10dB atau ≤ -10dB untuk nilai *return loss* agar power divider bekerja secara maksimal dan sesuai dengan parameter yang ditentukan.



Gambar 4. 10 Hasil pengukuran *return loss* pada *power divider*

Perbandingan antara hasil simulasi dan hasil pengukuran langsung untuk nilai *return loss bisa* dilihat dari tabel dibawah. Dimana dapat kita simpulkan bahwa terjadi perbedaan yang lumayan besar antara hasil simulasi dan hasil pengukuran secara langsung. Besar perbedaan mencapai nilai 5,49 dB.

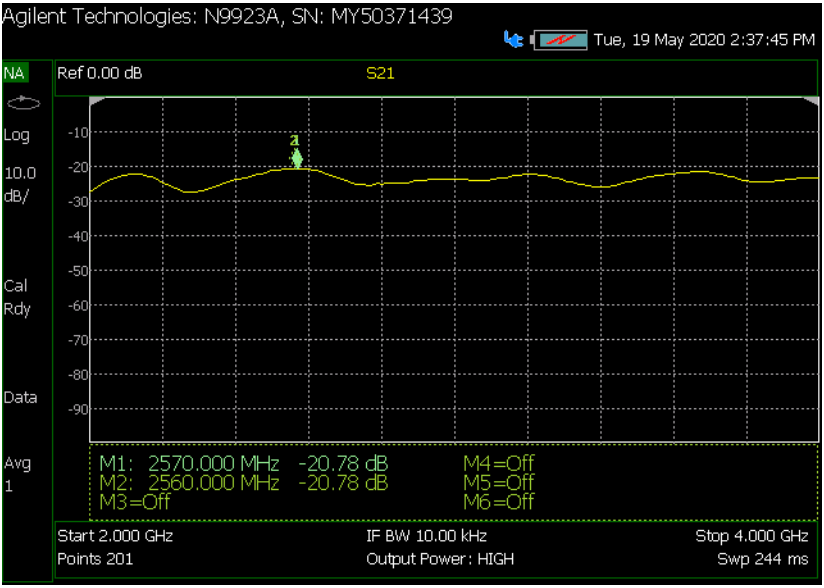
Tabel 4. 4 *Perbandingan Return Loss dari Hasil Simulasi dan Pengukuran*

Parameter	Simulasi	Pengukuran	Perbedaan
Return loss	$\leq -14\ dB$	$\leq -14\ dB$	0 dB
S_{11} pada 2,6 GHz	-13,49 dB	-8 dB	5,49 dB

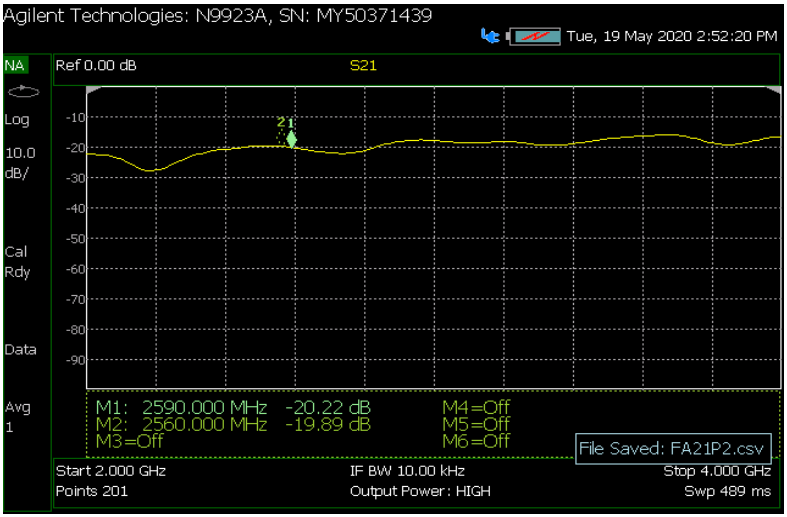
Hasil pengukuran S_{21}, S_{31}, S_{41} dan S_{51} ditunjukan pada gambar 4.7 (a)-(d). Pada grafik hasil pengukuran menunjukan bahwa nilai yang ditampilkan jauh berbeda dengan hasil simulasi. Pada simulasi di

frekuensi 2,6 GHz nilai *insertion loss* yang didapatkan adalah senilai -9,99 db; -4,85 dB;-5,84;-10dB sedangkan pada pengukuran dengan menggunakan *network analyzer* nilai S_{21}, S_{31}, S_{41} dan S_{51} ≤ -20dB hal ini sangar berbeda jauh dengan hasil simulasi yang didapatkan. Hal serupa juga terjadi pada nilai *return loss* seperti yang sudah disebutkan sebelumnya. Dimana nilai *return loss* pada simulai sudah bernilai sesuai spesifikasi yang diinginkan, yaitu ≤ -10dB atau lebih tepatnya bernilai sebesar -13dB. Hal ini terjadi karena adanya masalah deviasi/fabrikasi pada *power divider* yang kurang tepat, sehingga menimbulkan hasil yang berbeda jauh dengan apa yang telah disimulasikan, lalu juga ada masalah pada ketepatan konektor yang kurang bagus, sehingga menimbulkan daya yang masuk dan daya yang keluar tidak maksimal atau bisa dibilang terjadi *loss* yang banyak.

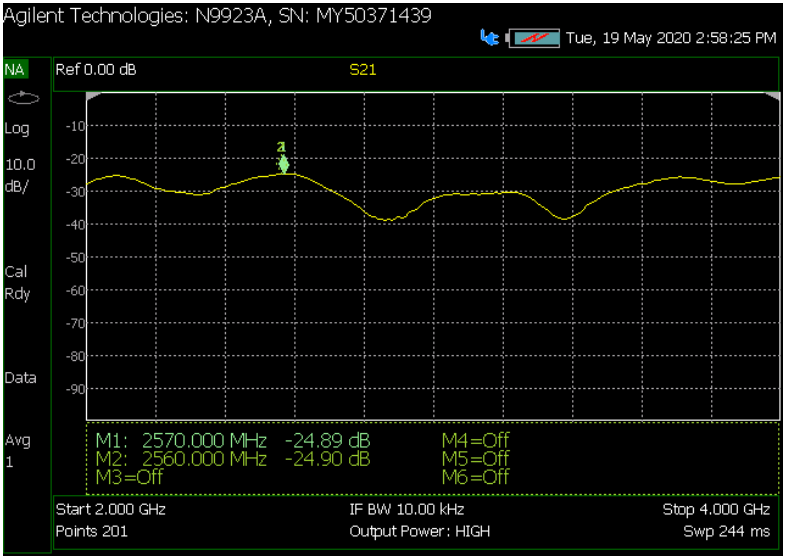
Berikut hasil pengukuran dari nilai S_{21}, S_{31}, S_{41} dan S_{51} dengan menggunakan *network analyzer*:



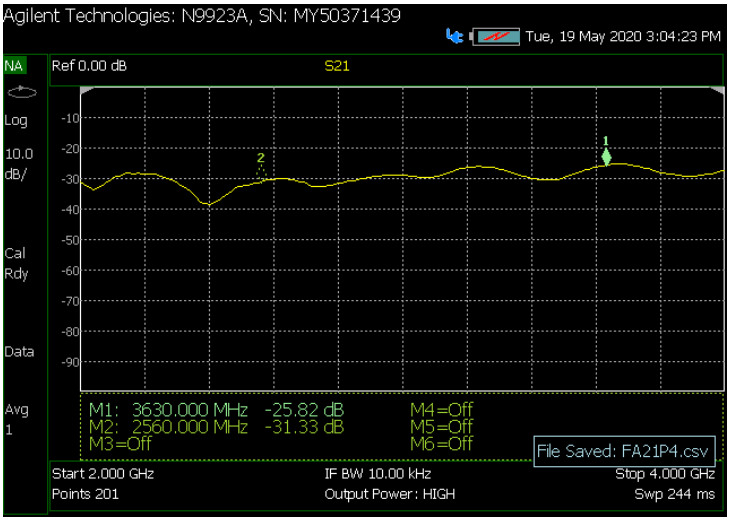
Gambar 4. 11 *Hasil Pengukuran Insertion Loss pada Power Divider* S_{21}



Gambar 4. 12 *Hasil Pengukuran Insertion Loss pada Power Divider* S_{31}



Gambar 4. 13 *Hasil Pengukuran Insertion Loss pada Power Divider* S_{41}



Gambar 4. 14 *Hasil Pengukuran Insertion Loss pada Power Divider* S_{51}

Dari hasil pengukuran tersebut bila ditambahkan nilai kompensai kabel sebesar 1 dB nilai yang didapatkan masih belum memenuhi parameter yang sudah ditentukan. Hal ini disebabkan karena deviasi fabrikasi dan konektor yang digunakan. Pada simulasi, didapatkan hasil yang sudah memenuhi spesisifikasi, nilai dari *return loss* dan *insertion loss* sudah memenuhi spesifikasi yang diinginkan hal ini sangat berbanding dengan hasil pada pengukuran langsung di lapangan. Pada simulasi nilai *return loss* yang didapatkan ≤-10dB atau lebih tepatkan -13dB dan nilai *insertion loss* adalah senilai -4dB sampai -10dB. Nilai-nilai yang didapatkan pada parameter *insertion loss* ini sudah memenuhi spesifikasi yang diinginkan, yaitu ≥-10dB. Nilai ini masih kurang maksimal karena nilai yang didapatkan belum sesuai dengan parameter yang ditentukan karena nilai yang diharapkan muncul adalah nilai diatas -10dB atau ≥-10dB untuk nilai *return loss* agar power divider bekerja secara maksimal dan sesuai dengan parameter yang ditentukan. Hal ini terjadi karena adanya masalah di fabrikasi, nilai *loss* pada kabel dan kurang peralatan yang ada. Berikut perbandingan hasil pengukuran *insertion loss* dengan simulasi di *CST Studio Suite*

Tabel 4. 5 *Perbandingan* Insertion Loss *dari Hasil Simulasi dan Pengukuran*

Parameter	*Simulasi*	*Pengukuran*	*Perbedaan*
S_{21} *pada 2,6 GHz*	*-9,99 dB*	*-20 dB*	*11,99 dB*
S_{31} *pada 2,6 GHz*	*-4,85 dB*	*-20 dB*	*16,85 dB*
S_{41} *pada 2,6 GHz*	*-5,84 dB*	*-25 dB*	*20,84 dB*
S_{51} *pada 2,6 GHz*	*-10 dB*	*-30 dB*	*20 dB*

Dari hasil yang didapatkan dari perbandingan antara hasil simulasi dan hasil pengukuran fabrikasi *power divider* menggunakan *network analyzer* pada tabel 4.5 hasil s-parameter yang didapatkan terdapat perbedaan yang cukup jauh hal ini mungkin disebabkan oleh deviasi fabrikasi atau konektor yang digunakan. Maka dari itu diperlukannya tempat fabrikasi yang memiliki ketelitian yang tinggi dan jenis konektor yang lebih baik agar mendapatkan hasil yang memiliki karakteristik yang sama dengan simulasi.

Pada hasil pengukuran di frekuensi kerja optimum *power divider* 2,6 GHz, menghasilkan nilai *insertion loss* sebesar ≤ -10 dB dengan perbedaan output antar port sebesar 5 dB, yang berarti bahwa *power divider 1 to 4* daya output sebesar 44,8% pada port S_{21} dan S_{51} sedangkan pada port S_{31} dan S_{41} daya outputnya sebesar 20,2% dan sisanya menjadi *loss*. Sedangkan pada hasil pengukuran nilai *insertion loss* berada pada kisaran -11 dB sampai -20 dB. Yang berarti bahwa nilai daya output sebesar 47,2% dan 20,5%. Perbandingan daya yang diterima pada *port output power divider 1 to 4* dan *loss* pada *power divider 1 to 4* dapat dilihat pada tabel 4.6

Pada tabel 4.6 kita mendapatkan informasi tentang perbandingan daya output dan *loss* yang dihasilkan oleh *power divider*, dimana nilai yang didapatkan perbedaan hasil antara simulai dan pengukuran langsung. Hal ini terjadi karena adanya deviasi fabrikasi, konektor yang kurang baik, dan alat yang digunakan kurang. Jadi ketika dilakukan pengukuran kita mendapatkan nilai yang kurang memuaskan.

Tabel 4. 6 *Perbandingan Daya Output dan Loss yang Dihasilkan pada Power Divider*

Parameter	Simulasi	Pengukuran
Daya output *power divider*	44,8 %	52,8%
Loss yang dihasilkan *power divider*	55,2 % dan 20,2%	47,2% dan 20,5%

Untuk nilai s-parameter yang dihasilkan oleh pengukuran dianggap masih belum memnuhi paramter yang telah ditentukan karena masalah pada deviasi fabrikasi yang kurang baik sehingga membua hasil yang didapatkan tidak sesuai dengan parameter yang sudah ditentukan.

BAB 5

PENUTUP

Power divider 1 to 4 dengan metode *Branch Line Coupler* telah selesai dirancang sesuai dengan spesifikasi yang diperlukan untuk menunjang sistem aplikasi BTS 5G. Dari penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan dari pembahasan bab-bab sebelumnya. Kekurangan dari penelitian ini juga dirangkum pada bab ini untuk dikembangkan menjadi lebih baik kedepannya.

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian dan perancangan *power divider 1 to 4* dengan metode *Branch Line Coupler* adalah:

1. Pada penelitian ini telah menghasilkan *power divider 1 to 4* dengan metode *Branch Line Coupler* dan hasil pengenbangan dari desain *power divider 1 to 2* dari refrensi yang dimodifikasi dengan metode *Branch Line Coupler* hingga dihasilkan konfigurasi 5 port *power divider* dengan 4 port output dan 1 port input untuk mendukung kinerja BTS 5G.
2. *Power divder 1 to 4* dengan metode *Branch Line Coupler* dibuat dengan bahan substrat FR4 yang memiliki permivitas 4,3 dan menghasilkan dimensi sebesar 47,34mm x 66,12mm.
3. Pada simulasi *power divider 1 to 4* dengan metode *Branch Line Coupler* telah memenuhi parameter yang ditentukan yaitu nilai *return loss* (S_{11}) $\leq$ -10 dB dan nilai *insertion loss* (S_{21}, S_{31}, S_{41} dan S_{51}) $\geq$ -10 dB, tetapi pada hasil pengukuran setelah difabrikasi nilai yang dihasilakn sama sekali tidak memenuhi parameter yang sudah ditentukan.
4. *Power divider* memiliki rentang frekuensi kerja 2,38 – 2,76 GHz dan 2,81 – 3,19 GHz dengan *fractional bandwidth* 16%.
5. *Powe divider* bekerja optimal pada frekuensi 2,6 GHz pada simulasi menghasilkan nilai *return loss* -13,49 dB dan nilai *insertion loss* (S_{21}, S_{31}, S_{41} dan S_{51}) sebesar -9,99 dB, -4,85 dB, -5,84 dB, dan -10 dB
6. Hasil dari simulasi yang dihasilkan oleh *power divider 1 to 4* berbeda jauh dengan hasil pengukuran *power divider* dengan

menggunakan *network analyzer*, hal ini disebabkan karena adanya deviasi fabrikasi yang kurang baik sehingga menghasilkan nilai pengukuran yang kurang baik juga.

5.2 Saran

Saran untuk perancangan *power divider* selanjutnya

1. *Power divider* dengan bahan FR4 menghasilkan nilai *insertion loss* yang masih kurang baik. Pergantian substrat dengan menggunakan bahan yang memiliki permitivitas lebih tinggi dapat diterapkan pada penelitian selanjutnya
2. *Power divider 1 to 4* menghasilkan nilai *bandhwith* yang kecil. Maka diperlukan cara untuk menggeser mode orde tinggi ke frekuensi yang tinggi dapat dilakukan untuk meningkatkan nilai *bandhwith*.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Febian,Awangga. 2015. Kajian Awal 5G Indonesia. Buletin Pos dan Telekomunikasi Vol. 13 No. 2 (2015) 97-114

[2] Prayoga,Sendy. 2013. Base Transceiver Station. Makalah

[3] Tim Peneliti Puslitbang SDPPI. 2018.*Studi Lanjutan 5G Indonesia 2018 Spektrum Outlook dan Use Case untuk layanan 5G Indonesia.*Naskah Publikasi. Halaman 7-8

[4] Emad Al Abbas, A. M. Abbosh and K. Bialkowski *Tunable In-Phase Power Dividerfor 5G Cellular Networks*,Inc.,2017.

[5] "Power Divider and Directional Coupler" http://www.tscm.com/couplers.pdf didownload pada tanggal 14 Desember 2019

[6] Kaijun Song, Fei Xia, Yedi Zhou, Song Guo, and Yong Fan, Microstrip/Slotline-Coupling Substrate IntegratedWaveguide Power Divider WithHigh Output Isolation,Inc.,2019

[7] Pozar D M., "Microwave Engineering 4th Edition", 2012.

[8] Balanis C A, "Antenna Theory Analysis and Design 4th Edition". 2016

[9] Ludwig R, Bretchko P, "RF Circuit Design Theory and Application", 2000.

[10] Dr. Leo P. Ligthart, "Transmission Lines with Focus on Microstrip Lines", 2018

[11] Dr. Leo P. Ligthart, "Couplers Workshop + Excercise", 2018

[12] Dr. Ahmad El-Banna, "Microstrip Lines", 2014

[13] S. Maheswari, and T. Jayanthy, "Microstrip Coupler with High Isolation",International Journal of Electronics and Communication Engineering, Volume 7, No. 2 (2014)

[14] Phraci Choubey, and Vandana Roy, "A Coupler Microstriplines Directional Coupler Simulated Using CST-MWS",International of Engineering Research and General Science Volume 3, Issue 5, September-October, 2015

[15] Michael Dydyk, "Microstrip Directional Couplers with Ideal Performance via Single-Element Compensation",IEE Transaction on Microwaves Theory and Techniques, Vol. 47, No. 6,June 1999

[16] Stefan Jahn, “ A Tutorial 10 dB Directional Coupler Design”, 2005

[17] Werner A. Ariola, Jae Young Lee, and Ihn Seok Kim, “Wideband 3 dB Branch Line Coupler Based on λ/4 Open Circuit Coupled Lines”,IEEE Microwaves and Wireless Components Letter, Vol. 21, No. 9, September 2011

[18] Canan Toker, Mustafa Saglam, Mustafa Ozme, and Niglun Gulnap, “Branch-Line Coupler Using Unequal Line Lenghts”,IEE Transaction on Microwave Theory and Techniques, Vol. 49, No. 4, April 2001

[19] Qiuyi Wu, Yimin Yang, Ying Wang, Xiaowei Shi, and Ming Yu, “Characteristic Impedance Control for Branch-Line Coupler Design.”, IEE Microwave and Wireless Component Letter, Vol. 28, No. 2, February 2018

Lembar ini sengaja dikosongkan

BIOGRAFI PENULIS

Firman Angga Saputra adalah seorang mahasiswa Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Lahir di Bojonegoro pada tanggal 19 September 1996. Selama aktif di perkuliahan penulis juga aktif dalam organisasi dan kegiatan kemahasiswaan baik di dalam jurusan maupun di luar jurusan. Penulis juga melakukan penelitian di Labolatorium Antena dan Propagasi Teknik Elektro ITS.

Lembar ini sengaja dikosongkan