

BAB 3

PERANCANGAN COUPLER DAN METODOLOGI PENGUKURAN

3.1. UMUM

Pada bab ini akan dipaparkan proses perancangan dan simulasi sebuah mikrostrip *coupler* beroperasi pada frekuensi 2,55 GHz. Jenis *coupler* yang dirancang adalah quadrature hybrid *coupler*. Keuntungan rancangan ini adalah mudah proses fabrikasinya, material yang digunakan mudah diperoleh dipasaran dan bentuk *coupler* yang sederhana yang dimodifikasi pada bagian lengan seri dengan menggunakan *tapered transition* untuk mendapatkan peningkatan bandwidth pada frekuensi ISM Band.

Perancangan *coupler* ini dapat dikelompokkan atas 2 tahapan. Tahapan pertama adalah perancangan mikrostrip quadrature hybrid *coupler*, penentuan spesifikasi substrat yang akan digunakan, penentuan dimensi saluran pencatu dan penentuan dimensi *coupler* serta jarak antar lengan pada *coupler*. Hasil yang diperoleh dari tahapan pertama selanjutnya dilanjutkan pada tahapan kedua. Pada tahapan ini setelah diperiksa bandwidth yang dihasilkan oleh *coupler* untuk substrat yang berbeda, maka ditentukan *coupler* yang akan dirancang untuk diterapkan garis kurva pada lengan serinya.

3.2. PERLENGKAPAN YANG DIGUNAKAN

Peralatan yang digunakan dalam perancangan ini terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat lunak digunakan untuk melakukan simulasi dan untuk mengetahui karakteristik *coupler* yang dirancang. Sedangkan perangkat keras digunakan untuk alat pensimulasi, fabrikasi dan pengukuran.

3.2.1 Perangkat Lunak

a. *Microwave Office 2009 V.9.00.4847*

Program ini sangat bermanfaat dalam perancangan. Dengan program ini, dapat disimulasikan desain *microstrip coupler* yang digunakan dan dapat

dilihat parameter hasilnya seperti *Isolation Factor*, *Reflection Factor*, *Coupling Factor* dan VSWR.

b. *PCAAD 3.0*

PCAAD 3.0 digunakan untuk menentukan impedansi karakteristik dan lebar saluran dari saluran pencatu, lengan shunt dan lengan seri dari coupler.

c. *Microsoft Excel 2003*

Perangkat lunak ini digunakan untuk mengolah data hasil simulasi dan pengukuran.

d. *Microsoft Visio 2003*

Program ini digunakan untuk melakukan visualisasi desain perancangan dan juga berbagai macam visualisasi yang digunakan dalam tesis ini.

3.2.2 Perangkat Keras

- a. *Network Analyzer Hewlett Packard 8753E (30 KHz-6GHz)*, yang digunakan untuk mengukur karakteristik coupler, seperti *reflection factor*, *isolation factor*, *coupling factor*, VSWR, dan *bandwidth*,
- b. Kabel *coaxial* 50 Ohm untuk pencatu.
- d. Substrat mikrostrip FR4
- e. *SMA* konektor dengan impedansi karakteristik 50 Ohm.
- f. *Termination* 50 Ohm.

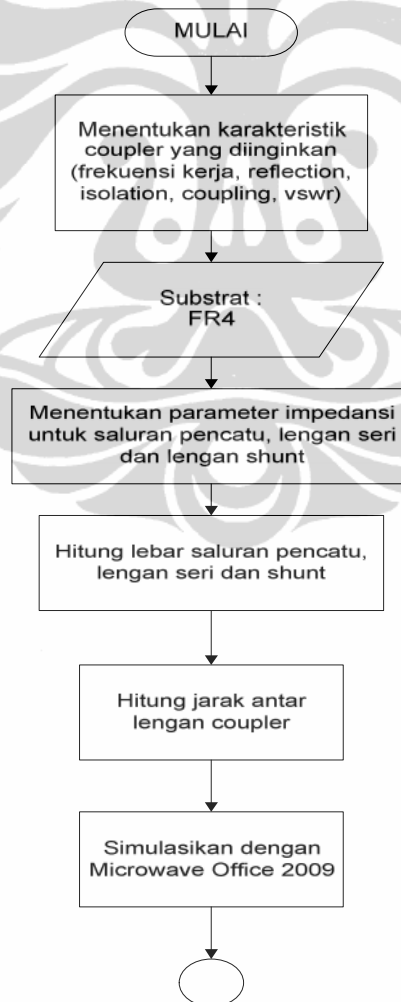
3.3. PERANCANGAN QUADRATURE HYBRID COUPLER

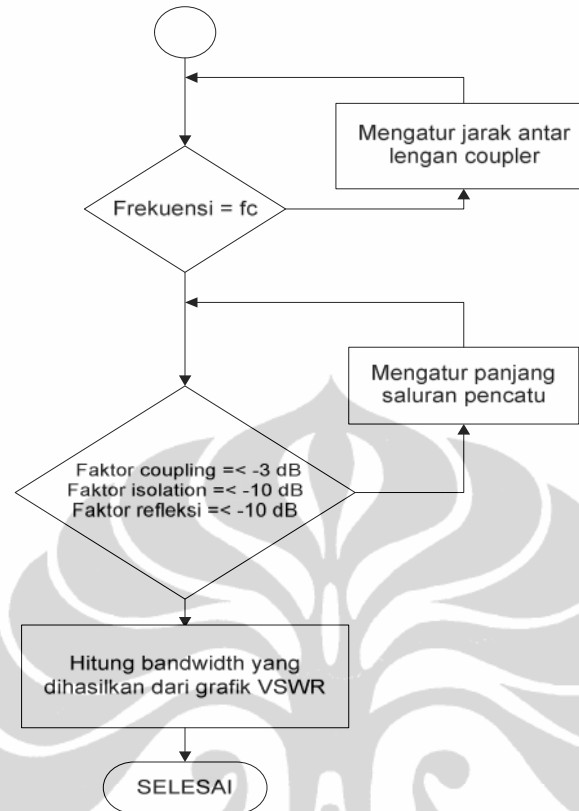
3.3.1. Diagram Alir Perancangan Coupler

Pada perancangan *coupler* ini terdapat beberapa tahapan yang diawali dengan menentukan frekuensi kerja yang diinginkan beserta spesifikasi yang akan dicapai. Selanjutnya menentukan jenis substrat yang akan digunakan. Dalam pemilihan jenis substrat haruslah mempertimbangkan kesesuaian antara karakteristik substrat dengan spesifikasi *coupler* yang akan dirancang, hal ini bertujuan untuk mendukung di dalam mendapatkan hasil yang diinginkan. Sebelum proses simulasi dilakukan, terlebih dahulu menentukan parameter-parameter dari *coupler* dengan menggunakan peralatan bantu ataupun persamaan yang telah dibahas pada bab sebelumnya. Dan pada proses simulasi,

dimungkinkan untuk memodifikasi beberapa parameter yang telah ditentukan untuk mendapatkan hasil yang dibutuhkan, diantaranya adalah dengan mengatur jarak antar lengan pada coupler yang dapat mengatur frekuensi resonansi menjadi lebih tinggi atau lebih rendah. Sedangkan pengaturan lebar atau panjang saluran pencatu, umumnya dilakukan untuk mendapatkan nilai VSWR atau *return loss* yang diinginkan.

Tujuan dari perancangan ini adalah untuk mendapatkan sebuah hybrid coupler dengan dimensi lengan seri, dimensi lengan shunt dan jarak antar lengan yang optimal yaitu mampu memenuhi spesifikasi parameter *coupler* [12] seperti, nilai *reflection factor* -10 dB, *isolation factor* -10 dB dan nilai phase coupling 90° pada rentang frekuensi 2,4 - 2,7 GHz. Gambar diagram alir dari proses perancangan *quadrature hybrid coupler* ini dapat dilihat pada gambar 3.1 berikut.





Gambar 3.1. Diagram alir perancangan quadrature hybrid coupler

3.3.2. Menentukan Karakteristik Coupler

Pada rancangan coupler ini diinginkan mampu bekerja pada frekuensi resonansinya 2,55 GHz, dengan memperhatikan cakupannya pada rentang 2,4 – 2,7 GHz. Selanjutnya akan menjadi nilai parameter frekuensi dalam menentukan parameter lainnya yaitu jarak antar lengan coupler. Pada rentang 2,4 – 2,7 GHz, diharapkan coupler memiliki parameter nilai *reflection factor* -10 dB, *isolation factor* -10 dB, *phase coupling* 90° dan nilai VSWR 2.

3.3.3 Jenis Substrat yang Digunakan

Dalam pemilihan jenis substrat sangat dibutuhkan pengetahuan tentang spesifikasi umum dari susbstrat tersebut, kualitasnya, ketersediaannya, dan yang tidak kalah penting adalah harga atau biaya yang harus dikeluarkan untuk

mendapatkannya, karena akan mempengaruhi nilai jual ketika akan dipabrikasi secara massal untuk dipasarkan.

Jenis substrat yang digunakan pada perancangan antenna ini adalah FR4. Adapun parameter substrat dapat dilihat pada tabel 3.1 sebagai berikut.

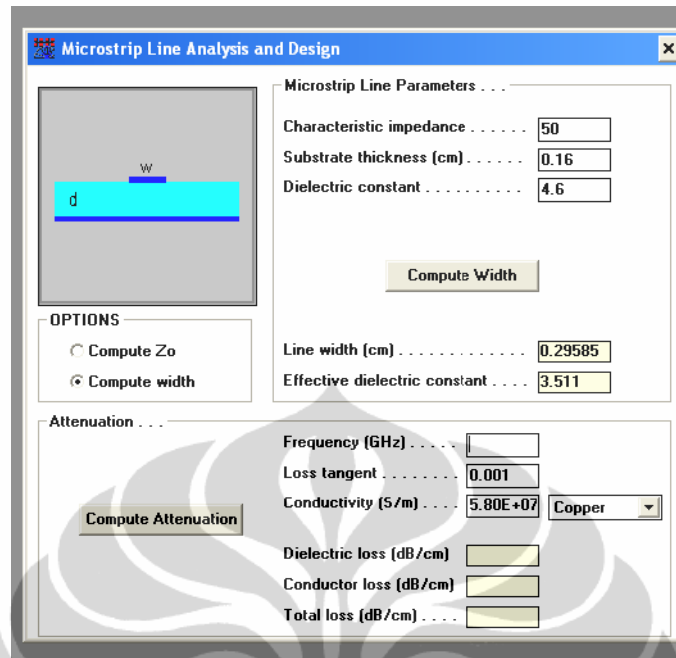
Tabel 3.1. Spesifikasi substrat yang digunakan

Jenis Substrat	FR4
Konstanta Dielektrik Relatif (ϵ_r)	4.3
Dielectric Loss Tangent ($\tan \delta$)	0.002
Ketebalan Substrat (h)	1.6 mm

3.3.4. Perancangan Lebar Saluran Pencatu

Saluran pencatu yang digunakan pada perancangan diharapkan mempunyai atau paling tidak mendekati impedansi masukan sebesar 50Ω . Untuk mendapatkan nilai impedansi tersebut dilakukan pengaturan lebar dari saluran pencatu dengan menggunakan program PCAAD. Tampilan dari program PCAAD untuk mencari lebar catuan agar mempunyai impedansi 50Ω dapat dilihat pada Gambar 3.2.

Pada Gambar 3.2, dengan memasukkan karakteristik impedansi yang diinginkan dan parameter substrat yang digunakan, maka program ini akan secara otomatis menampilkan besar lebar dari saluran pencatu agar menghasilkan nilai impedansi yang diinginkan tersebut. Melalui perangkat lunak PCAAD ini diperoleh bahwa untuk menghasilkan impedansi 50Ω dengan substrat yang akan digunakan dalam perancangan, dibutuhkan lebar saluran pencatu sebesar 0,31118 cm. Namun untuk menyesuaikan dengan ukuran grid (0,25) yang digunakan pada perangkat lunak *Microwave Office* maka lebar ini dibulatkan menjadi 0,3 cm.



Gambar 3.2. Tampilan program PCAAD untuk mencari lebar saluran pencatu agar mempunyai impedansi 50 Ω .

3.3.5 Perancangan Dimensi Hybrid Coupler

Coupler yang akan dirancang pada penelitian ini adalah mikrostrip quadrature hybrid coupler dengan frekuensi kerja 2,55 GHz. Untuk perancangan awal dari dimensi coupler digunakan perhitungan pada mikrostrip quadrature hybrid coupler dengan bentuk normal seperti yang telah dijelaskan di dalam Bab 2 yaitu lebar lengan shunt dan lengan seri ditentukan oleh nilai impedansi karakteristik yang digunakan.

Impedansi yang digunakan sebesar 50 ohm, sehingga lebar lengan shunt sama dengan lebar saluran pencatu yaitu 0,3 cm. Sedangkan nilai impedansi yang digunakan untuk menentukan lebar lengan seri adalah $50 / \sqrt{2} = 35$ ohm. Dengan menggunakan PCAAD diperoleh lebar lengan seri yaitu 0,53031 cm. Pembulatan dilakukan menjadi 0,525 cm untuk disesuaikan dengan grid (0,25) yang digunakan pada Microwave Office. Sedangkan jarak antar lengan ($\lambda/4$) pada coupler ditentukan oleh frekuensi kerja yang diinginkan yaitu 2,55 GHz. Sehingga diperoleh nilainya 2,9411 cm, yang dibulatkan menjadi 2,95 cm

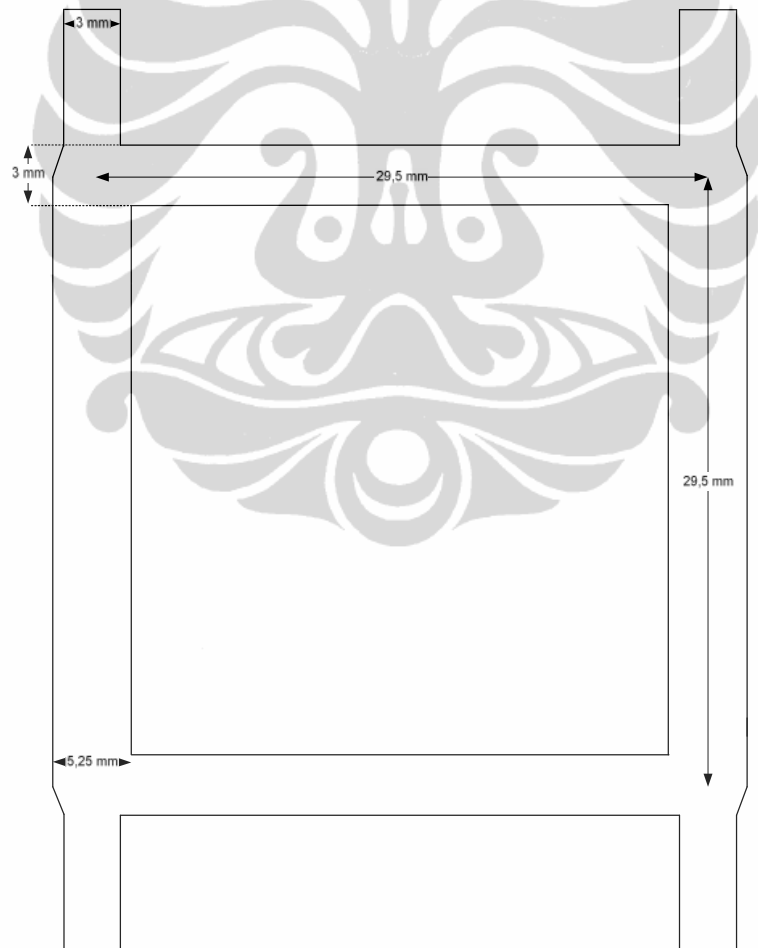
Hasil pengukuran dimensi coupler dari perhitungan-perhitungan diatas

untuk masing-masing substrat dapat ditunjukkan dalam tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.2. Dimensi Quadrature Hybrid Coupler

Jenis Substrat	<i>FR4</i>
Lebar Saluran Pencatu	3 mm
Lebar lengan shunt	3 mm
Lebar lengan seri	5,25 mm
Panjang antar lengan	29,5 mm
Enclosure	42 x 42

Hasil pengukuran ini digunakan untuk membuat rancangan awal seperti yang ditunjukkan oleh gambar 3.3.

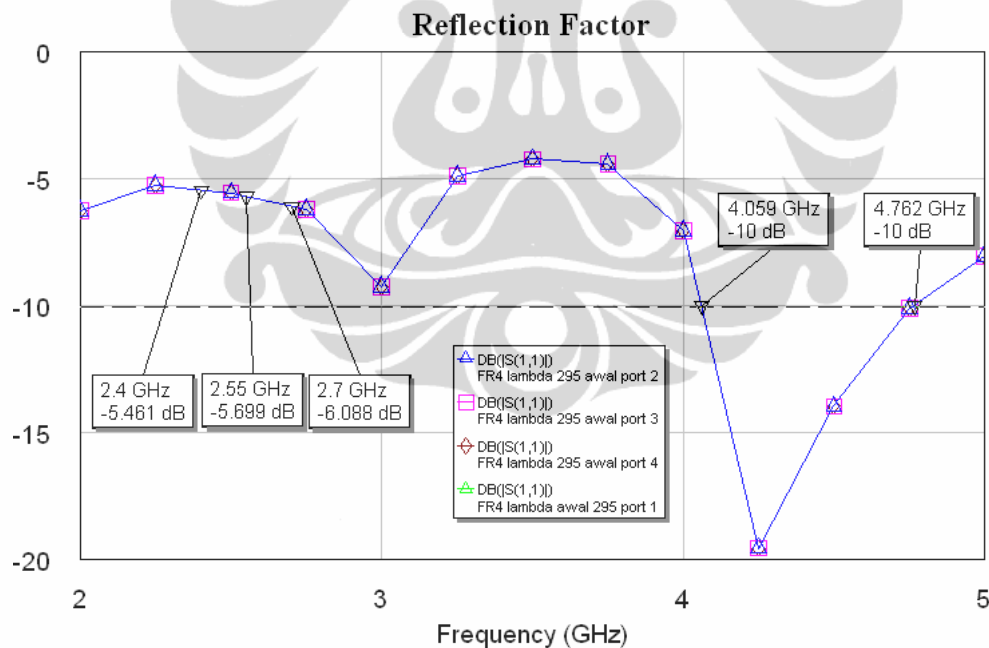


Gambar 3.3 Rancangan awal Quadrature Hybrid Coupler

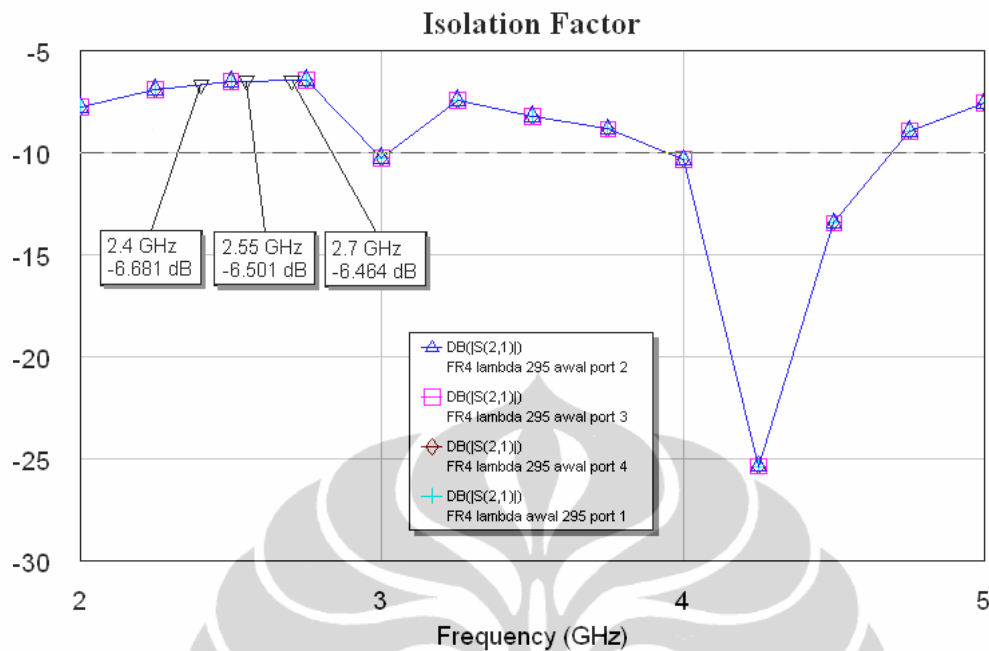
3.3.6 Mensimulasikan Rancangan

Pada tahap ini, rancangan awal untuk tiap substrat disimulasikan dengan perangkat lunak *Microwave Office 2009 V.9.00.4847*. Parameter yang diperhatikan pada tahap ini adalah reflection factor dan isolation factor saja, untuk memudahkan dalam melihat kinerja awal dari tiap rancangan.

Dari Gambar 3.4 dapat dilihat bahwa, pada frekuensi kerja yang diinginkan yaitu 2,55 GHz, nilai *reflection factor* yang diperoleh sebesar -5.699 dB. Hasil ini jauh dari nilai yang diharapkan yaitu sebesar -10 dB. Sedangkan pada frekuensi 2,4 GHz dan 2,7 GHz terlihat memiliki nilai reflection factor -5,461 dB dan -6,088 dB. Nilai ini sama untuk tiap port yang dianggap sebagai input (excitation port). Hal ini menunjukkan sifat kesimetrian dari hybrid coupler yang telah dirancang. Sekaligus dapat dilihat untuk reflection factor yang bernilai -10 dB berada pada range 4,059 GHz dan 4,762GHz. Ini menunjukkan hybrid coupler belum bekerja pada frekuensi yang diinginkan.



Gambar 3.4. *Reflection Factor* hasil simulasi awal



Gambar 3.5. *Isolation Factor* hasil simulasi awal

Gambar 3.5 juga memperlihatkan bahwa untuk frekuensi kerja 2,55 GHz memiliki nilai isolation Factor -6,501 dB dan frekuensi lainnya 2,4 GHz serta 2,7 GHz berturut-turut memiliki nilai -6,681 dB dan -6,464 dB. Secara keseluruhan belum mencapai nilai Isolation Factor yang diinginkan untuk tiap port yang diacu.

Hasil yang ditunjukkan oleh gambar kedua parameter menunjukkan pencapaian nilai reflection factor dan isolation factor yang diharapkan, terjadi pada frekuensi yang lebih tinggi dari pada frekuensi kerja. Hal ini dapat disebabkan oleh faktor pembulatan yang dilakukan atas nilai yang diperoleh dari perhitungan untuk penyesuaian grid. Sehingga mempengaruhi hasil simulasi. Oleh karena itu, untuk mendapatkan rancangan yang optimal perlu dilakukan pengkarakterisasian coupler.

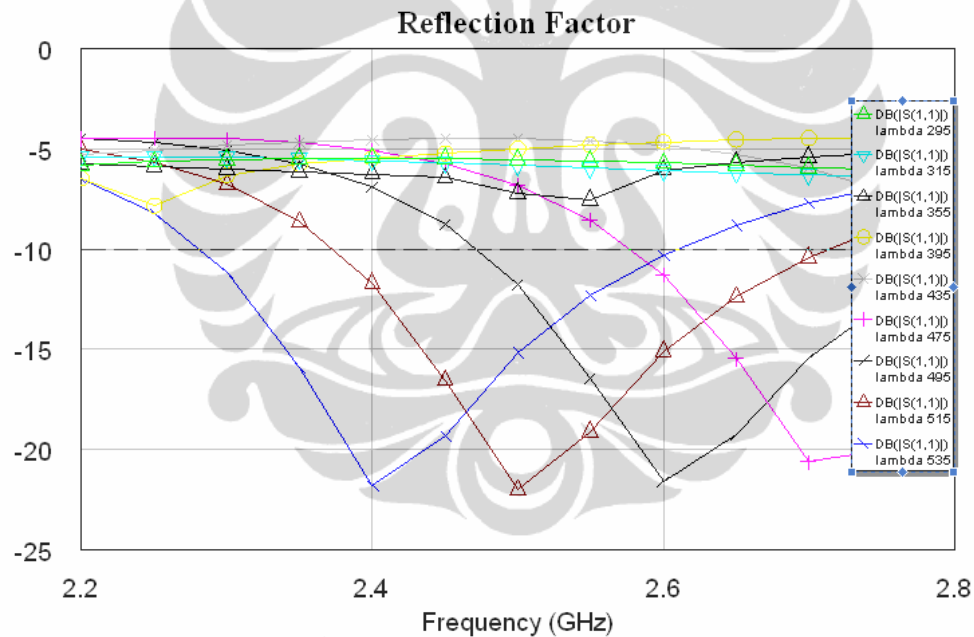
3.3.7 Karakterisasi Coupler

3.3.7.1 reflection factor

Secara teori umum, untuk menggeser frekuensi kerja dari hasil rancangan awal coupler (Gambar 3.4, dan 3.5) adalah dengan mengatur ukuran panjang antar lengan coupler, karena penghitungan nilai panjang antar lengan coupler

melibatkan panjang gelombang dari frekuensi kerja yang digunakan. Parameter yang memungkinkan untuk digunakan pada pengkarakterisasian ini adalah jarak antar lengan coupler.

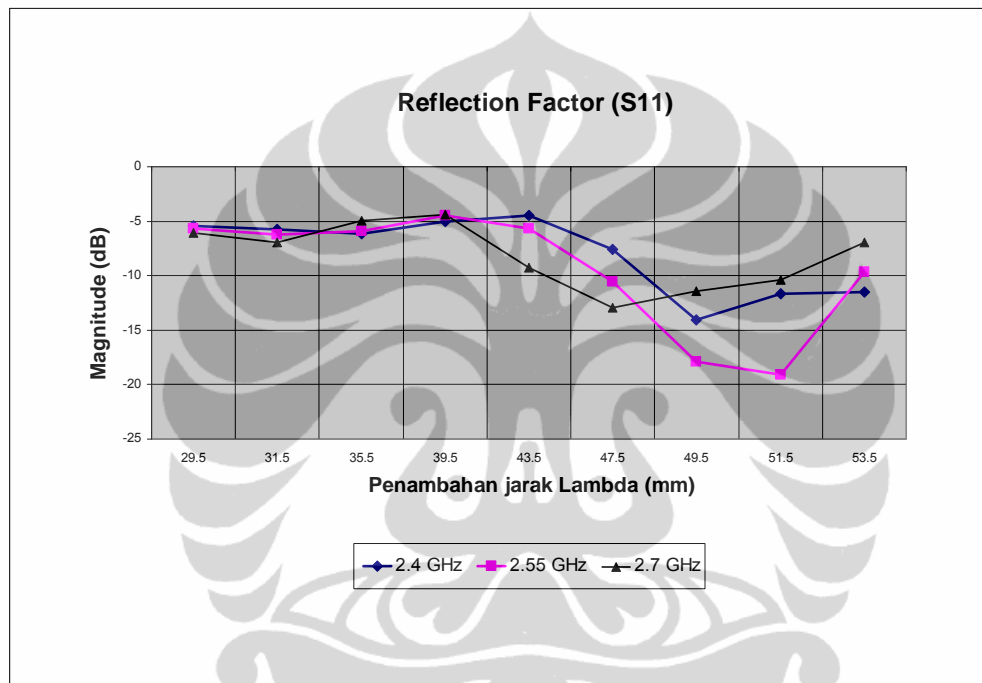
Pada sub bab 3.3.6 dinyatakan bahwa dari hasil simulasi menunjukkan letak frekuensi yang berbeda dengan frekuensi kerjanya, yang mencapai nilai Reflection Factor dan Isolation Factor yang diinginkan. Sehingga perlu dilakukan pengaturan pada jarak antar lengan coupler yang berkaitan langsung dengan frekuensi yang akan diatur. Pada rancangan coupler yang memiliki posisi frekuensi kerja dibawah frekuensi yang mencapai/mendekati nilai parameter yang diinginkan, maka karakterisasi dilakukan dengan melakukan penambahan jarak antar lengan coupler. Pengkarakterisasian rancangan coupler dilakukan hanya pada port 1 saja mengingat kesimetrian dari coupler.



Gambar 3.6 Reflection Factor dengan penambahan jarak antar lengan

Gambar 3.6 memperlihatkan hasil simulasi pengkarakterisasian dari rancangan coupler dengan mengubah jarak antar lengan. Perubahan dimulai dari jarak antar lengan 29,5 mm hingga 53,5 mm, dengan pertambahan jarak tiap 2 mm. Berdasarkan data-data dari gambar ini dapat dinyatakan dalam bentuk grafik fungsi reflection factor terhadap penambahan jarak antar lengan seperti pada

gambar 3.7. Untuk memudahkan dalam membaca grafiknya sehingga variasi jarak antar lengan yang digunakan adalah 29,5 mm, 31,5 mm, 35,5 mm, 39,5 mm, 43,5 mm, 47,5 mm, 49,5 mm, 51,5 mm dan 53,5 mm. Perubahan jarak antar lengan coupler juga mengubah dimensi enclosure dari substrat FR4 dari 42 x 42 hingga 66 x 66, dengan tetap mempertahankan panjang saluran catu yang digunakan. Parameter yang tetap adalah panjang saluran catu 4,75 mm dan lebar tepi dari lengan seri ke enclosure 4,75 mm.

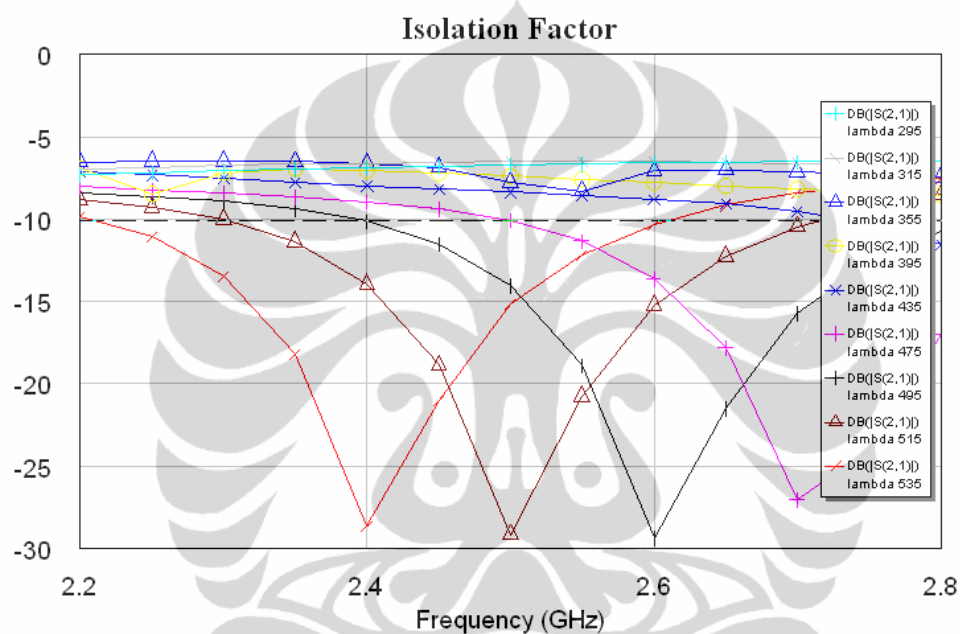


Gambar 3.7 Grafik fungsi Reflection Factor terhadap pertambahan jarak antar lengan coupler untuk frekuensi 2.4 GHz, 2.55 GHz dan 2.7 GHz

Dari gambar 3.6 dapat diamati bahwa dengan memperbesar jarak antar lengan coupler dapat menggeser frekuensi yang sebelumnya berada pada range 4 GHz ke frekuensi kerja yang diinginkan 2,55 GHz. Pada gambar 3.7 dapat dilihat bahwa jarak antar lengan coupler yang optimal adalah pada jarak antar lengan 51,5 mm dengan bandwidth yang mencakup range 2.4 – 2.7 GHz. Dimana pada kondisi tersebut, nilai Reflection Factor yang diperoleh mencapai -19,12 dB untuk frekuensi kerja 2,55 GHz. Sedangkan frekuensi 2,4 GHz dan 2,7 GHz memiliki nilai Reflection Factor -11,7 dB dan -10,42 dB.

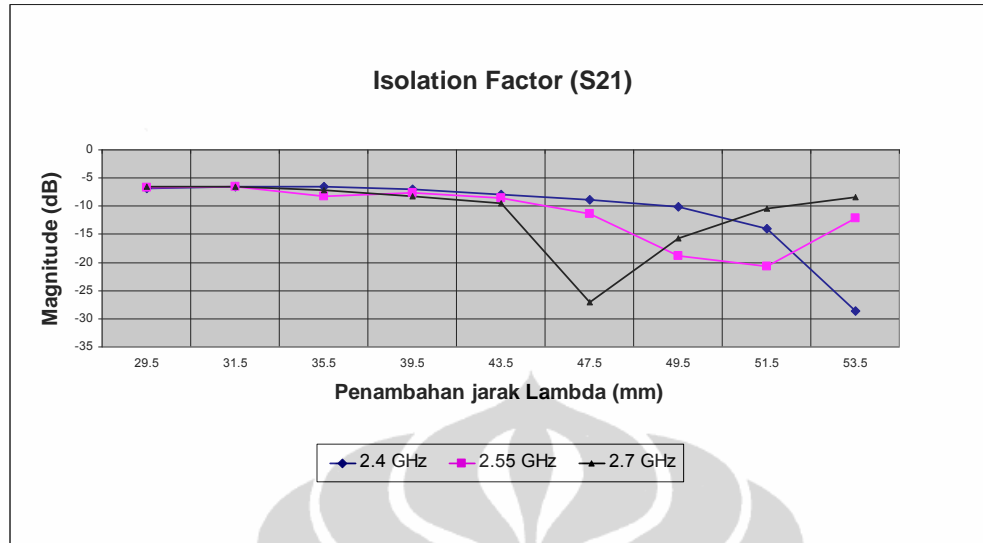
3.3.7.2 isolation factor

Pada gambar 3.8 memperlihatkan pengkarakterisasian dari rancangan coupler dilihat dari parameter Isolation Factor-nya. Perubahan dimulai dari jarak antar lengan 29,5 mm hingga 53,5 mm, dengan penambahan jarak tiap 2 mm. Penggunaan variasi yang sama dengan yang digunakan pada parameter Reflection factor. Dari gambar 3.8 juga dapat dilihat adanya penggeseran frekuensi ke arah nilai yang diinginkan dengan adanya penambahan jarak antar lengan coupler.



Gambar 3.8 Isolation Factor dengan penambahan jarak antar lengan

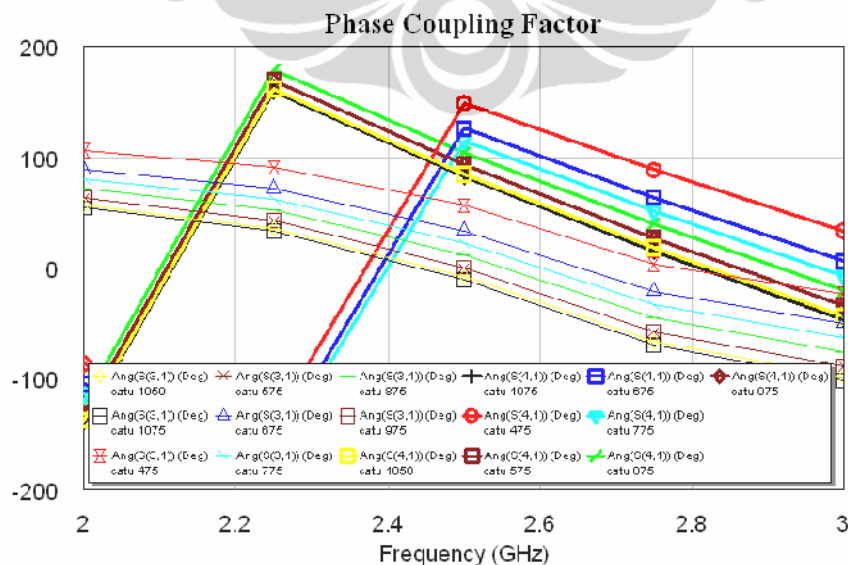
Dari data-data pada gambar 3.8 dapat dinyatakan dalam bentuk grafik fungsi isolation factor terhadap pertambahan jarak antar lengan seperti pada gambar 3.9 Pada gambar ini dapat dilihat bahwa jarak antar lengan coupler yang optimal adalah pada jarak antar lengan 51,5 mm dengan bandwidth yang mencakup range 2.4 – 2.7 GHz. Pada jarak antar lengan 51,5 nilai Isolation factor untuk frekuensi kerja 2,55 GHz yaitu -20,76 dB. Sedangkan frekuensi 2,4 GHz dan 2,7 GHz memiliki nilai Isolation Factor sebesar -10,46 dB dan -13,93 dB.



Gambar 3.9 Grafik fungsi Isolation Factor terhadap penambahan jarak antar lengan coupler untuk frekuensi 2.4 GHz, 2.55 GHz dan 2.7 GHz

3.3.7.3 Coupling Factor

Untuk parameter coupling factor, pengkarakterisian dilakukan terhadap hasil rancangan optimal berdasarkan sub bab 3.3.7.1 dan 3.3.7.2. Sehingga pengkarakterisian dilakukan pada rancangan dengan jarak antar lengan 49,5 mm dengan panjang saluran pencatu 4.75 mm. Penambahan panjang saluran pencatu menjadi dasar dari karakterisasi yang dilakukan.

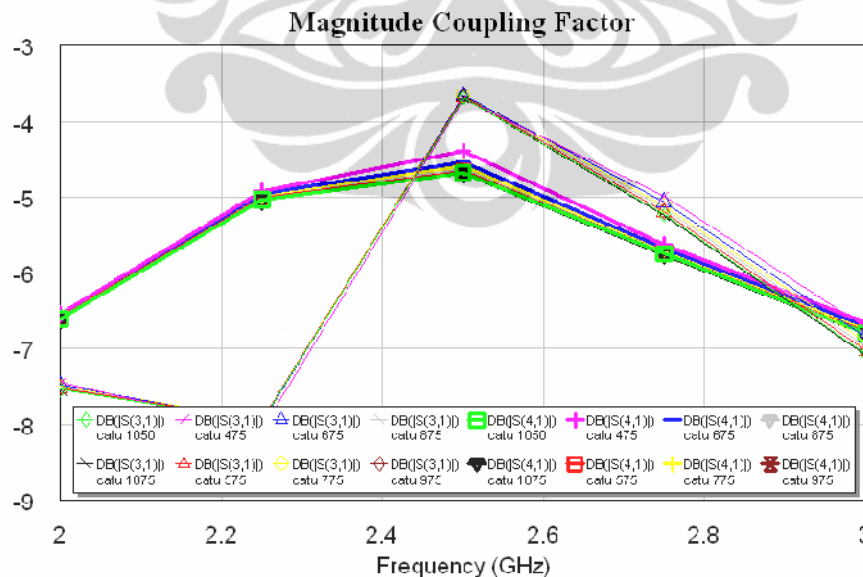


Gambar 3.10 Phase Coupling Factor dengan penambahan panjang saluran catu

Dari gambar 3.10 dibuatkan tabel 3.3 untuk dapat membaca perubahan phase coupling factor dari hasil karakterisasi. Tabel ini selain menunjukkan phase coupling yang terjadi sekaligus kesalahan phasanya. Dari literatur [7-9] diperoleh toleransi kesalahan phase berkisar 1° - 2° . Frekuensi 2.55 GHz dan 2.7 GHz mempunyai nilai phase coupling dan kesalahan phase yang masih dalam toleransi, sedangkan frekuensi 2.4 GHz tidak ada. Dengan memperhatikan kesalahan phase yang terkecil untuk tiap frekuensi, maka dipilih hasil yang terdapat pada panjang saluran catu 10.50 mm.

Tabel 3.3. Phase Coupling Factor dan Errornya untuk frekuensi 2.4 GHz, 2.55 GHz dan 2.7 GHz dari gambar 3.10

Panjang Saluran Catu (mm)	f = 2.4 GHz				f = 2.55 GHz				f = 2.7 GHz			
	S31	S41		error	S31	S41		error	S31	S41		error
4.75	70.12	33.54	-36.58	53.42	45.93	136.7	90.77	0.77	14.23	100.6	86.37	3.63
5.75	17.49	123.6	106.11	16.11	-11.17	80.02	91.19	1.19	-45.86	40.52	86.38	3.62
6.75	49.13	11.68	-37.45	52.55	22.81	113.7	90.89	0.89	-9.97	76.38	86.35	3.65
7.75	38.55	1.034	-37.52	52.48	11.43	102.5	91.07	1.07	-22.18	64.31	86.49	3.51
8.75	28.07	134.2	106.13	16.13	0.18	91.07	90.89	0.89	-33.94	52.43	86.37	3.63
9.75	17.49	123.6	106.11	16.11	-11.17	80.02	91.19	1.19	-45.86	40.52	86.38	3.62
10.5	9.72	115.9	106.18	16.18	-19.49	71.58	91.07	1.07	-54.78	31.57	86.35	3.65
10.75	7.125	113.4	106.27	16.27	-22.32	68.82	91.14	1.14	-57.71	28.66	86.37	3.63



Gambar 3.11 Magnitude Coupling Factor dengan penambahan panjang saluran catu

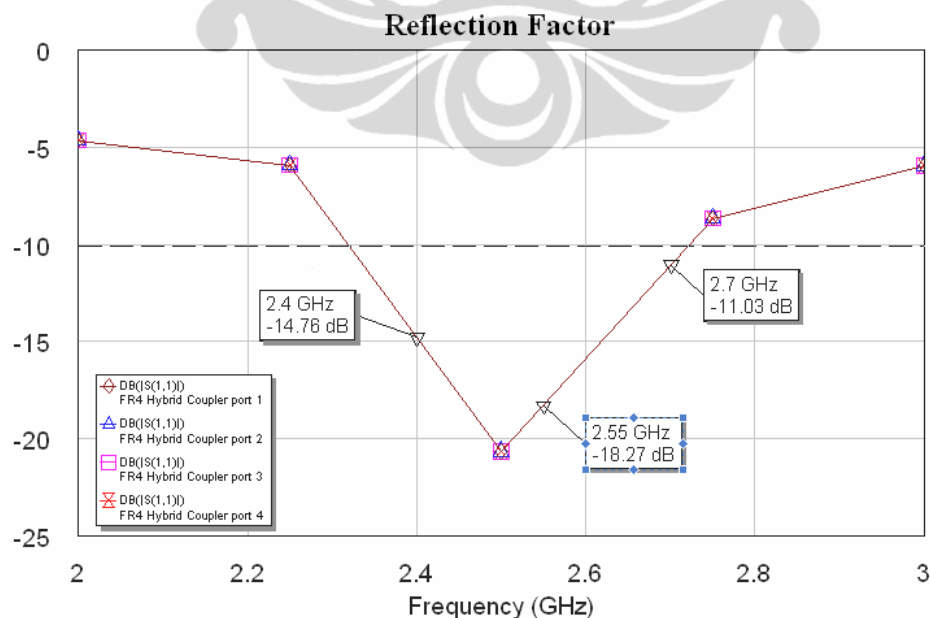
Ditinjau dari magnitudenya, penambahan panjang saluran catu tidak memberikan efek yang begitu signifikan terhadap nilai magnitudenya seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.11. Sehingga magnitude yang digunakan adalah sesuai dengan hasil pilihan berdasarkan phase coupling factornya, yaitu pada panjang saluran catu 10.50 mm

3.3.8 Rancangan Hasil Karakterisasi

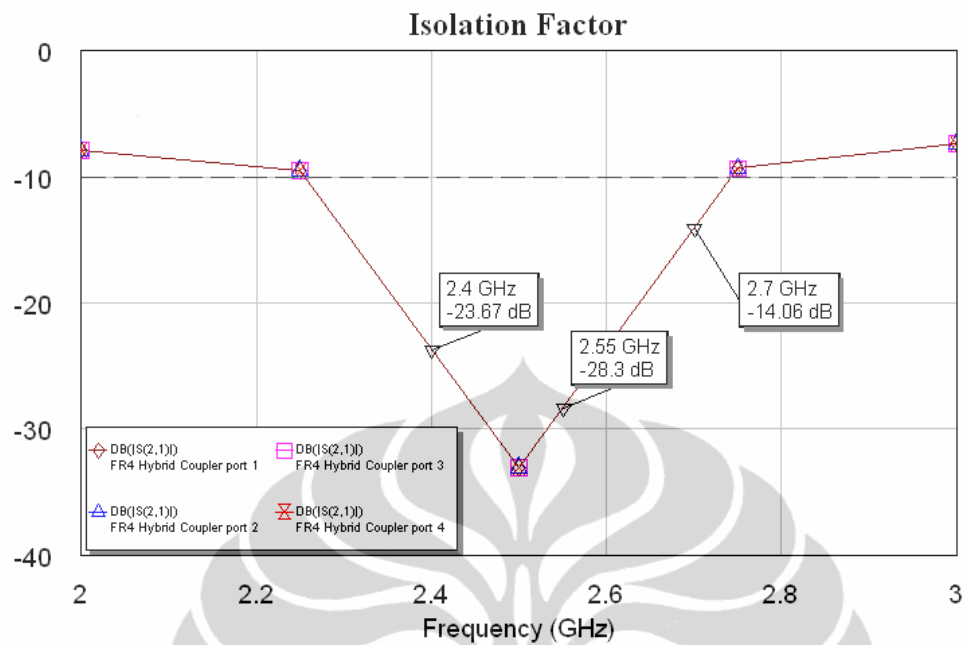
Dengan mengetahui beberapa karakteristik dari coupler yang dirancang, maka dapat membantu dalam memperoleh rancangan yang optimal. Kondisi optimal ditinjau dari nilai-nilai parameter yang diinginkan dan toleransi kesalahannya. Pada rancangan hasil karakterisasi untuk tiap-tiap substrat dilakukan simulasi dengan menggunakan AWR 2009 untuk mendapatkan nilai parameter reflection factor, isolation factor, coupling factor, dengan port catu yang diubah-ubah. Perubahan port catu digunakan untuk memperlihatkan kesimetrian dari coupler hasil karakterisasi.

3.3.8.1 Parameter Rancangan Hasil Karakterisasi

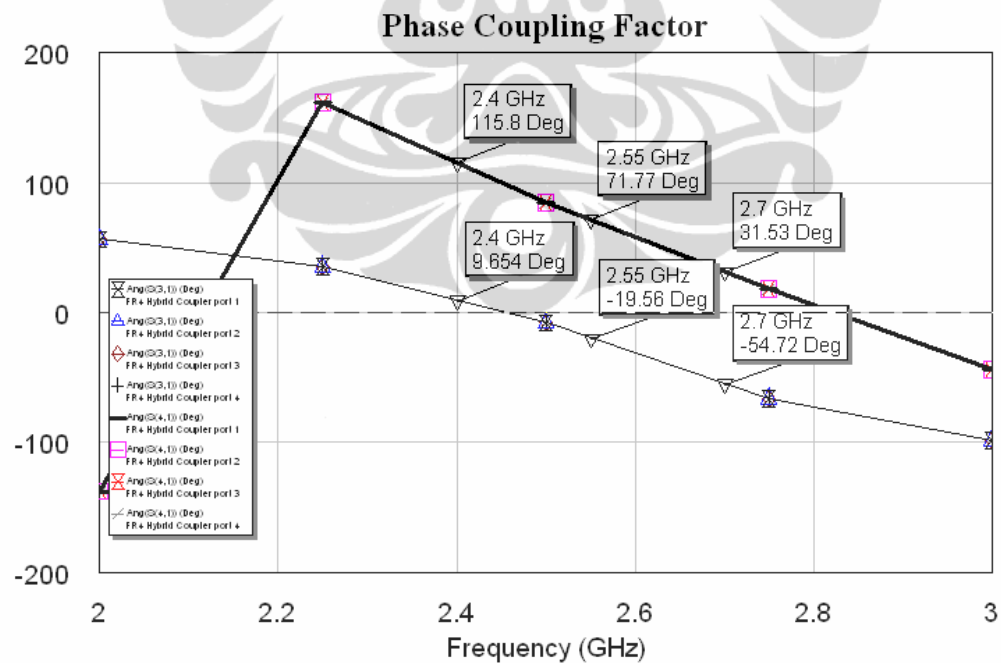
Hasil simulasi untuk parameter-parameter coupler hasil karakterisasi ditunjukkan oleh gambar 3.12, 3.13, 3.14 dan 3.15



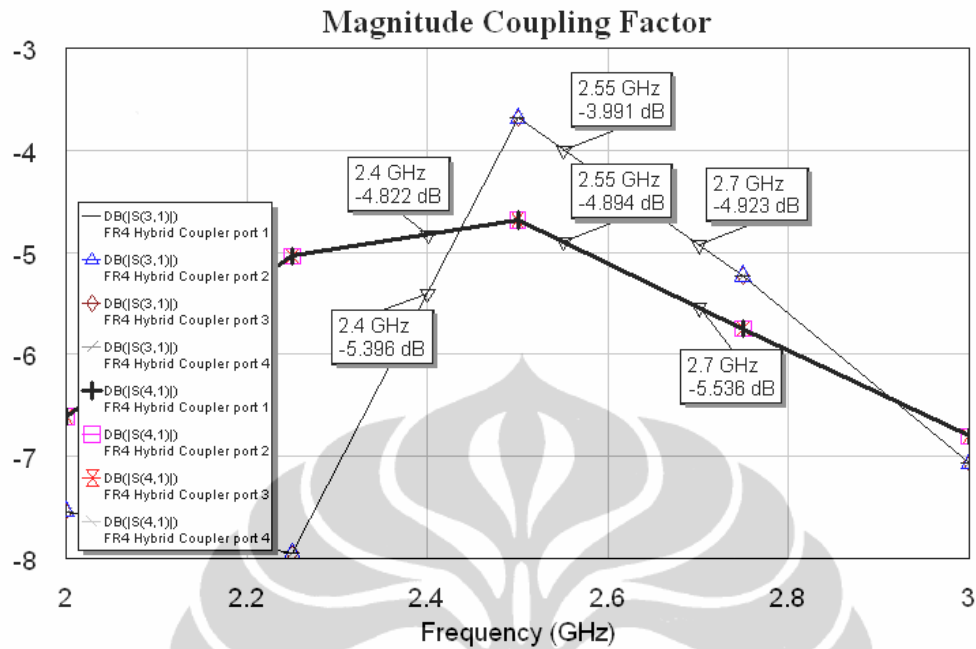
Gambar 3.12 Reflection Factor untuk Rancangan Coupler hasil karakterisasi



Gambar 3.13 Isolation Factor untuk Rancangan Coupler hasil karakterisasi



Gambar 3.14 Phase Coupling Factor untuk Rancangan Coupler hasil karakterisasi



Gambar 3.15 Magnitude Coupling Factor untuk Rancangan Coupler hasil karakterisasi

Dimensi dari rancangan quadrature hybrid coupler hasil karakterisasi dapat dinyatakan pada tabel 3.4, sekaligus memperlihatkan perbandingannya dengan rancangan sebelum dikarakterisasi.

Tabel 3.4. Perbandingan Dimensi Quadrature Hybrid Coupler

	Awal	Karakterisasi
Lebar Saluran Pencatu	3 mm	3 mm
Lebar lengan shunt	3 mm	3 mm
Lebar lengan seri	5,25 mm	5,25 mm
Panjang antar lengan	29,5 mm	51,5 mm
Panjang Saluran Pencatu	4,75 mm	10,50 mm
Enclosure	42 x 42	64 x 75.5

Parameter-parameter coupler hasil karakterisasi yang ditunjukkan oleh gambar 3.12, 3.13, 3.14 dan 3.15 dapat dinyatakan dalam bentuk tabel 3.5 sebagai berikut.

Tabel 3.5. Parameter Quadrature Hybrid Coupler hasil karakterisasi

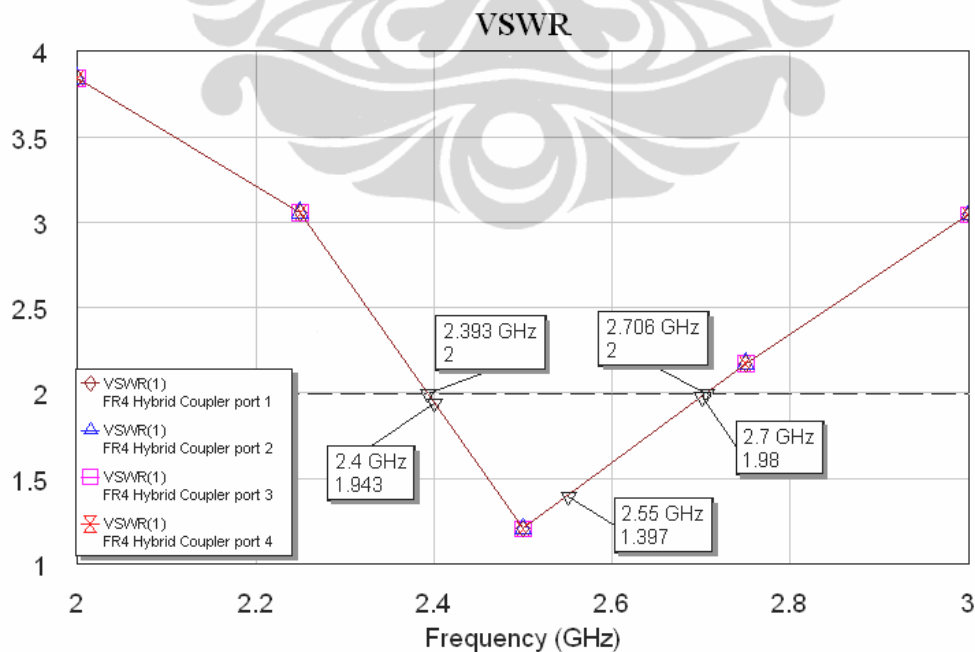
	2.4 GHz	2.55 GHz	2.4 GHz
Reflection Factor	-14,76 dB	-18,27 dB	-11,03 dB
Isolation Factor	-23,67 dB	-28,3 dB	-14,06 dB
Phase Coupling Factor	106,14°	91,33°	86,25°
Magnitude Coupling Factor rata-rata	-5,05 dB	-4,23 dB	-4,92 dB

3.3.8.2 Bandwidth Rancangan Coupler Hasil Karakterisasi

Untuk mengetahui bandwidth dari Hybrid Coupler hasil karakterisasi, maka diamati parameter VSWRnya. Pada Gambar 3.16 dapat dilihat bahwa nilai VSWR yang diperoleh pada frekuensi 2,4 GHz dan 2,7 GHz masing-masing adalah 1.943 dan 1.98. Pada frekuensi tengahnya (2,55) GHz nilai VSWR yang diperoleh 1.397. Sedangkan *bandwidth* yang ingin dicapai yaitu pada nilai VSWR 2 adalah:

$$\text{bandwidth} = \frac{f_{atas} - f_{bawah}}{f_{tengah}} \times 100\% = \frac{2,706 - 2,393}{2,55} \times 100\%$$

$$\text{bandwidth} = 12,27\% \quad (313 \text{ MHz})$$

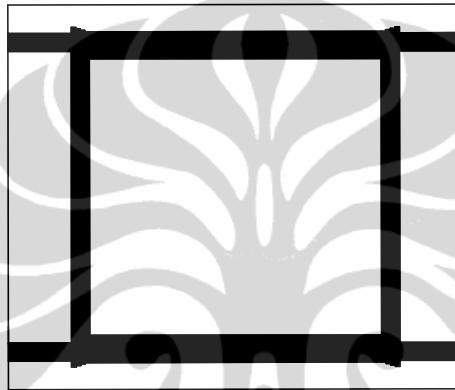


Gambar 3.16 VSWR untuk Rancangan Coupler hasil karakterisasi

3.3.9 Penerapan Garis Kurva pada Lengan Seri

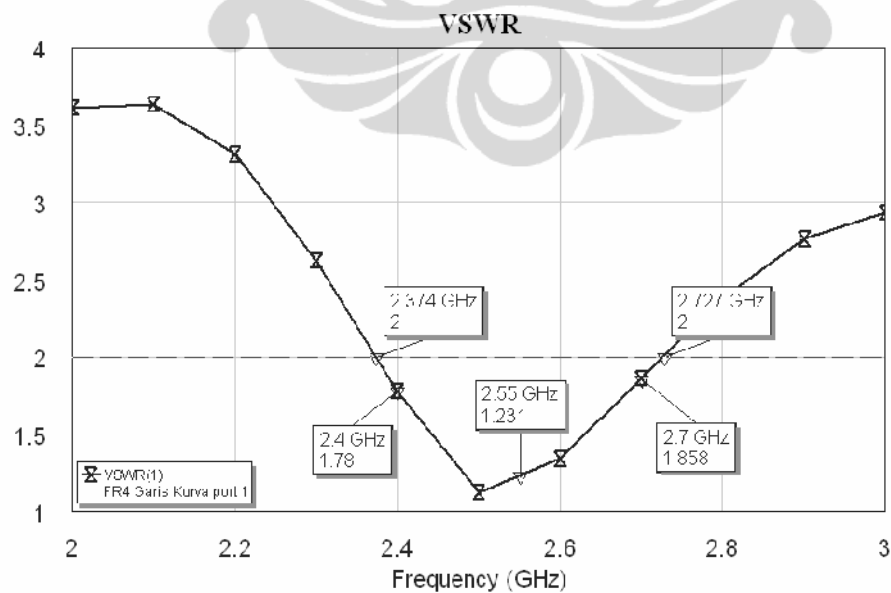
Bandwidth pada hybrid coupler hasil karakterisasi diperoleh sebesar 313 MHz. Bandwidth ini masih dimungkinkan untuk ditingkatkan. Dengan demikian dilakukan penerapan garis kurva untuk meningkatkan bandwidthnya.

Pada tesis ini penerapan tapered lines dilakukan dengan memperhitungkan ketinggian dan lebar taper. Hal ini juga dengan memperhatikan parameter reflection loss, isolation loss dan VSWRnya. Gambar 3.17 berikut memperlihatkan bentuk geometris hybrid coupler dengan garis kurva.



Gambar 3.17 Bentuk Geometris Hybrid Coupler dengan garis kurva

Setelah dilakukan simulasi terhadap bentuk hybrid coupler FR4 yang baru, diperoleh hasil seperti yang terlihat pada gambar 3.181



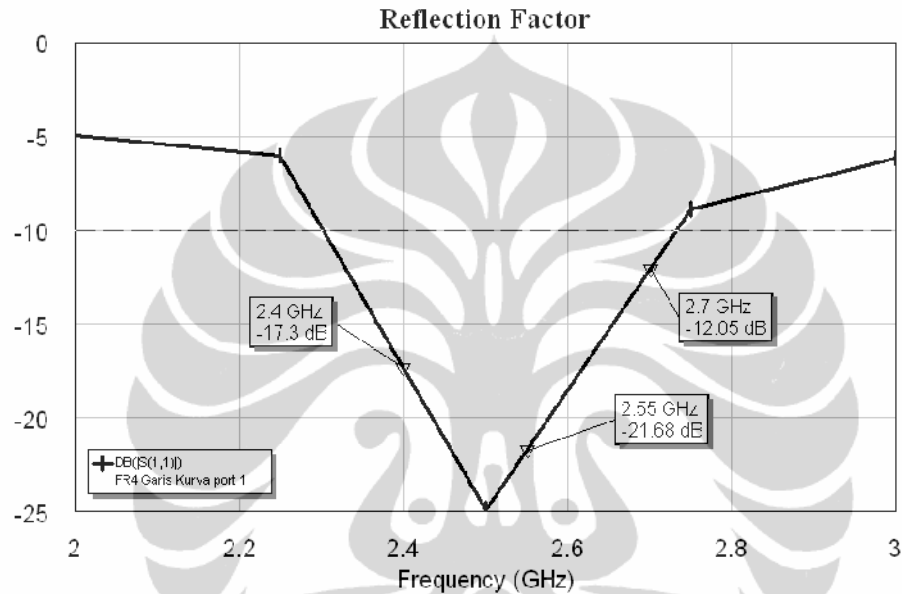
Gambar 3.18 VSWR untuk hybrid coupler dengan garis kurva.

Bandwidth yang diperoleh yaitu pada nilai VSWR 2 adalah:

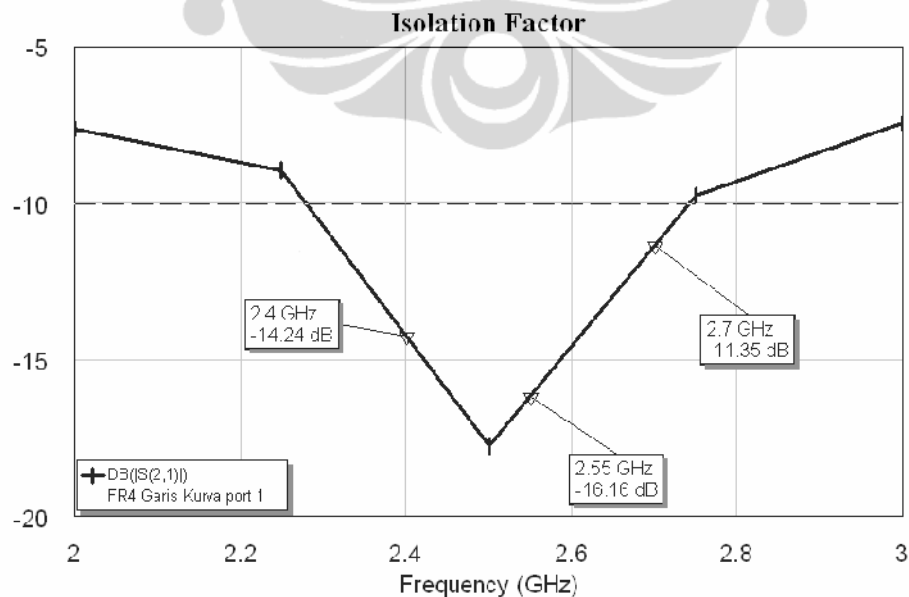
$$\text{bandwidth} = \frac{f_{\text{atas}} - f_{\text{bawah}}}{f_{\text{tengah}}} \times 100\% = \frac{2,727 - 2,374}{2,55} \times 100\%$$

$$\text{bandwidth} = 13,84\% \text{ (353 MHz)}$$

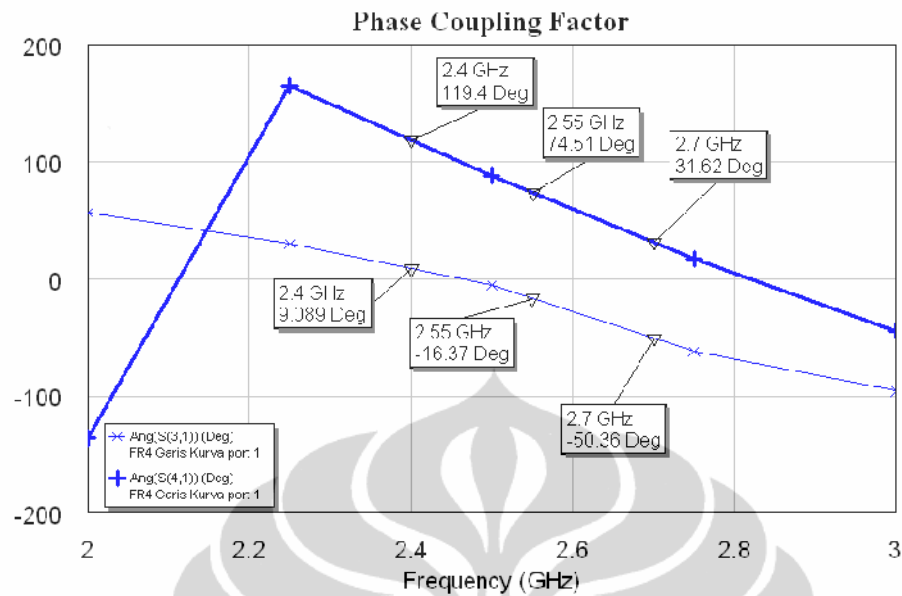
Terjadi kenaikan sebesar 353 MHz – 313 MHz = 40 MHz. Sedangkan nilai parameter coupler kurva dapat dilihat pada gambar 3.19 sampai dengan 3.22



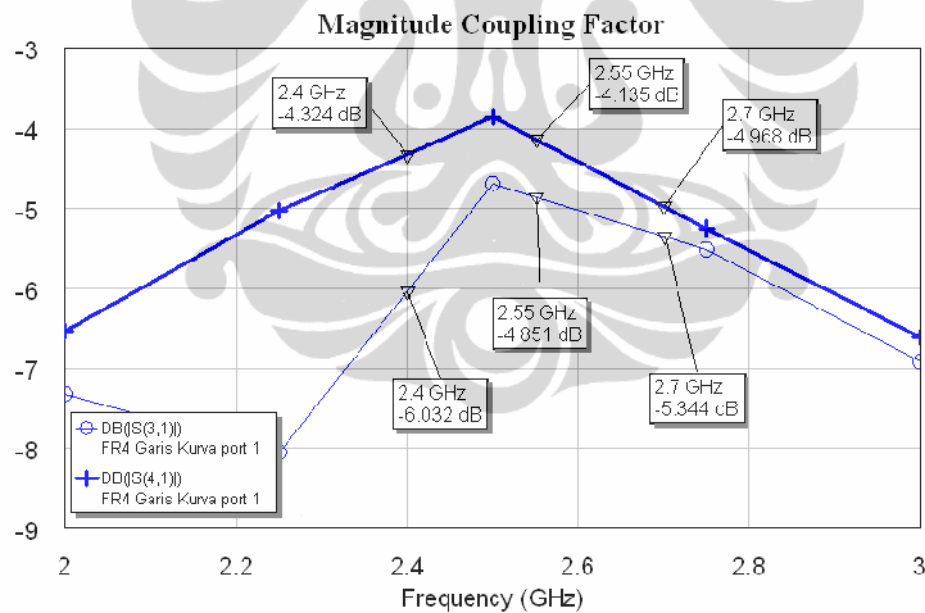
Gambar 3.19 Reflection factor untuk hybrid coupler dengan garis kurva



Gambar 3.20 Isolation factor untuk hybrid coupler dengan garis kurva.



Gambar 3.21 Phase coupling factor untuk hybrid coupler dengan garis kurva



Gambar 3.22 Magnitude coupling factor untuk hybrid coupler dengan garis kurva

Tabel 3.6 berikut memperlihatkan data parameter coupler hasil simulasi dari rancangan tanpa garis kurva dan dengan garis kurva untuk frekuensi kerja 2,55 GHz

Tabel 3.6. Parameter Coupler tanpa garis kurva dan dengan garis kurva pada frekuensi kerja 2,55 GHz

	Tanpa kurva	Kurva
Reflection Factor	-18,27 dB	-21,68 dB
Isolation Factor	-28,3 dB	-16.66 dB
Phase Coupling Factor	91,33°	90.883°
Magnitude Coupling Factor rata-rata	-4,442 dB	-4,493 dB

3.4. METODOLOGI PENGUKURAN PARAMETER COUPLER

Parameter antenna yang diukur pada tesis ini adalah *reflection loss*, *isolation loss*, *coupling*, dan *VSWR*. Keempat parameter coupler yang akan diukur ini dikelompokkan menjadi dua bagian, yaitu pengukuran *port* tunggal (untuk mengukur *reflection loss* dan *VSWR*) dan pengukuran *port* ganda (untuk mengukur *isolation loss* dan *coupling*). Pengukuran ini menggunakan *Network Analyzer 8753E* yang memiliki 2 buah *port*. Sebelum digunakan, hal yang penting dilakukan adalah melakukan kalibrasi pada *port* yang akan dipasang.

3.4.1. Pengukuran *Port* Tunggal

Pengukuran *port* tunggal merupakan pengukuran parameter sebuah coupler yang hanya dilihat dari salah satu port coupler dengan menterminasi ketiga port coupler lainnya. Pada pengukuran *port* tunggal ini, parameter yang diukur adalah *reflection loss* dan *VSWR*. Konfigurasi pengukuran *port* tunggal terlihat pada Gambar 3.23.

Pengukuran coupling ini juga dilakukan pada frekuensi yang sama. Pada masing-masing frekuensi diukur phasanya. Jika nilai phase dari coupled line dan direct line mempunyai perbedaan phase 90° , dikatakan coupler telah bekerja pada nilai yang diharapkan.

