

BAB 4

HASIL PENGUKURAN DAN ANALISIS PENGUKURAN

4.1. HASIL PENGUKURAN PARAMETER COUPLER

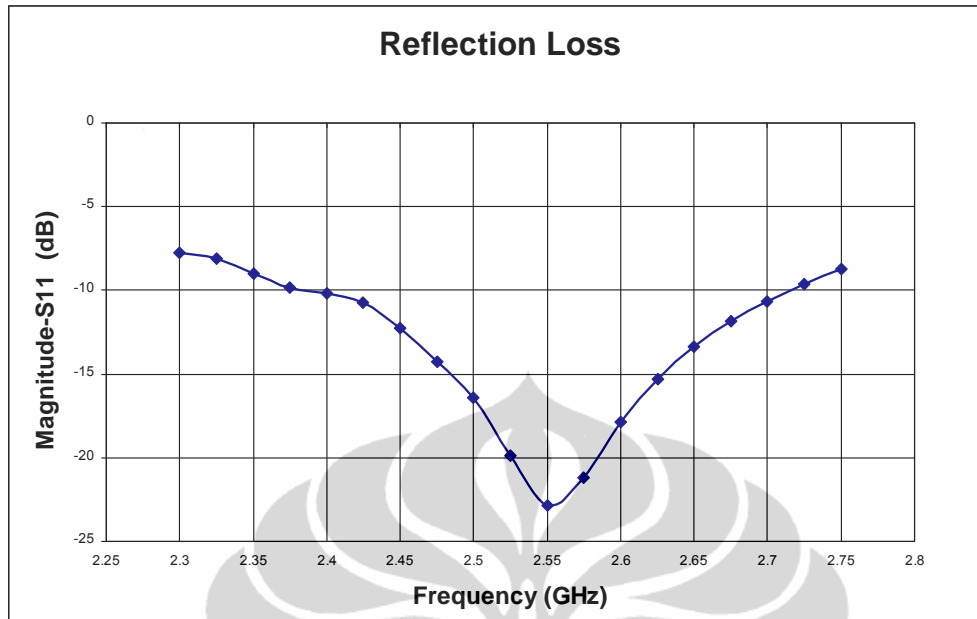
Pada proses simulasi dengan menggunakan perangkat lunak AWR *Microwave Office* 2009, yang dibahas pada bab tiga sebelumnya, telah diperoleh dua buah rancangan yaitu coupler tanpa garis kurva dan coupler yang diberi garis kurva pada lengan serinya. Selanjutnya kedua rancangan coupler tersebut difabrikasi dan diukur dengan *Network Analyzer* berdasarkan metode pengukuran seperti yang dijelaskan pada sub-bab 3.4. Ada 4 parameter antenna yang diukur pada penelitian ini, yaitu *reflection loss*, *isolation loss*, *coupling*, dan VSWR. Keempat parameter tersebut dibagi ke dalam 2 kelompok pengukuran, yaitu pengukuran *port* tunggal (untuk mengukur *reflection loss* dan VSWR) dan pengukuran *port* ganda (untuk mengukur *isolation loss* dan *coupling*)

4.1.1. Pengukuran *Port* Tunggal

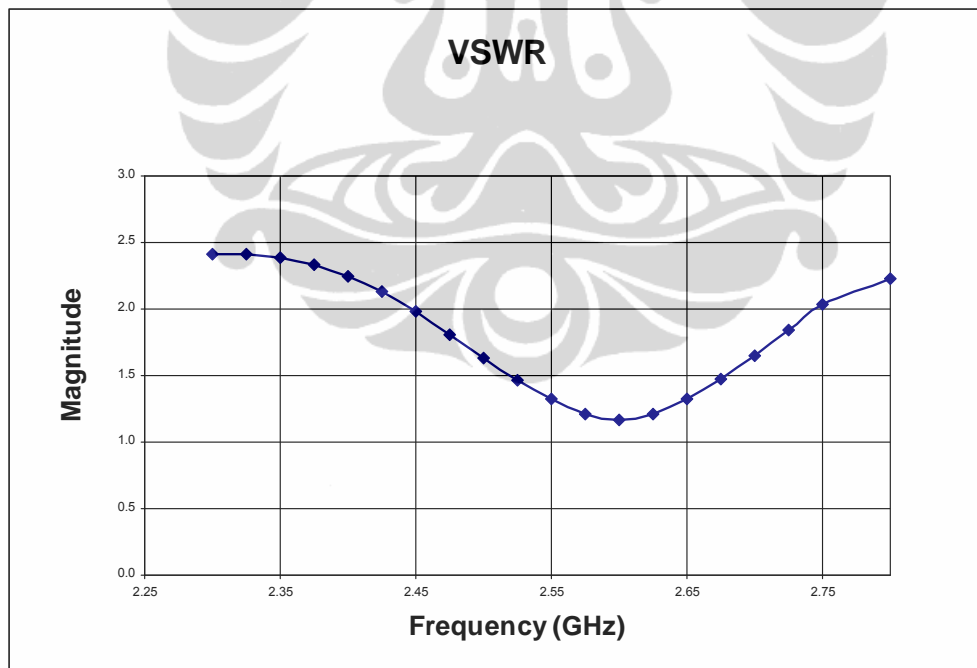
Pada penelitian ini, pengukuran *port* tunggal dilakukan pada *port* 1 *network analyzer* dengan format S11. Format S11 ini merupakan perbandingan antara tegangan yang direfleksikan dengan tegangan yang dikirimkan, dimana tegangan tersebut masuk melalui *port* 1 dan keluar juga melalui *port* 1. Coupler hasil fabrikasi dihubungkan dengan *port* 1 melalui konektor SMA ke *port* coupler yang dianggap sebagai input. Sedangkan ketiga *port* coupler lainnya diterminasi.

4.1.1.1. Hasil Pengukuran *Port* Tunggal Coupler tanpa Kurva

Hasil pengukuran *port* tunggal terhadap coupler tanpa kurva, seperti yang ada pada lampiran 1, dibuat berupa grafik *reflection loss* dan VSWR dapat dilihat pada Gambar 4.1, dan 4.2 secara berurutan.



Gambar 4.1. Grafik *reflection loss* hasil pengukuran coupler tanpa kurva



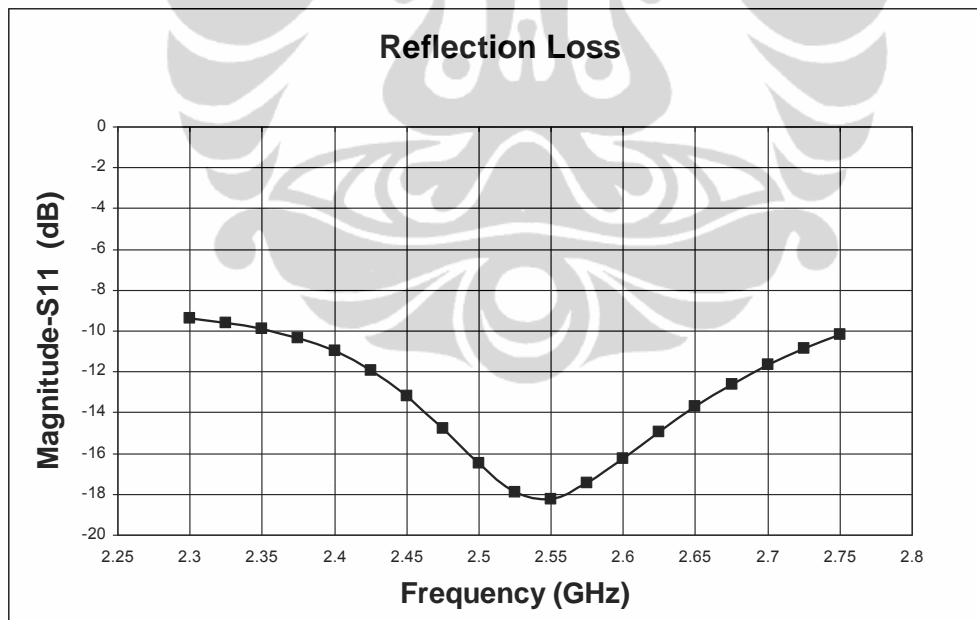
Gambar 4.2. Grafik VSWR hasil pengukuran coupler tanpa kurva

Dari Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa nilai *reflection loss* yang diperoleh pada frekuensi 2,4 GHz dan 2,7 GHz masing-masing adalah -9,6557 dB dan -10,724 dB. Nilai *reflection loss* terendah yang diperoleh adalah -22,872 dB pada frekuensi 2,55 GHz. Sedangkan nilai VSWR yang diperoleh pada frekuensi 2,4 GHz dan 2,7 GHz (Gambar 4.2), masing-masing adalah 2.245 dan 1,6452. Nilai VSWR terendah mencapai 1,1624 pada frekuensi 2,6 GHz. Dari hasil pengukuran ini dapat diketahui bahwa *bandwidth* coupler pada nilai VSWR ≤ 2 adalah :

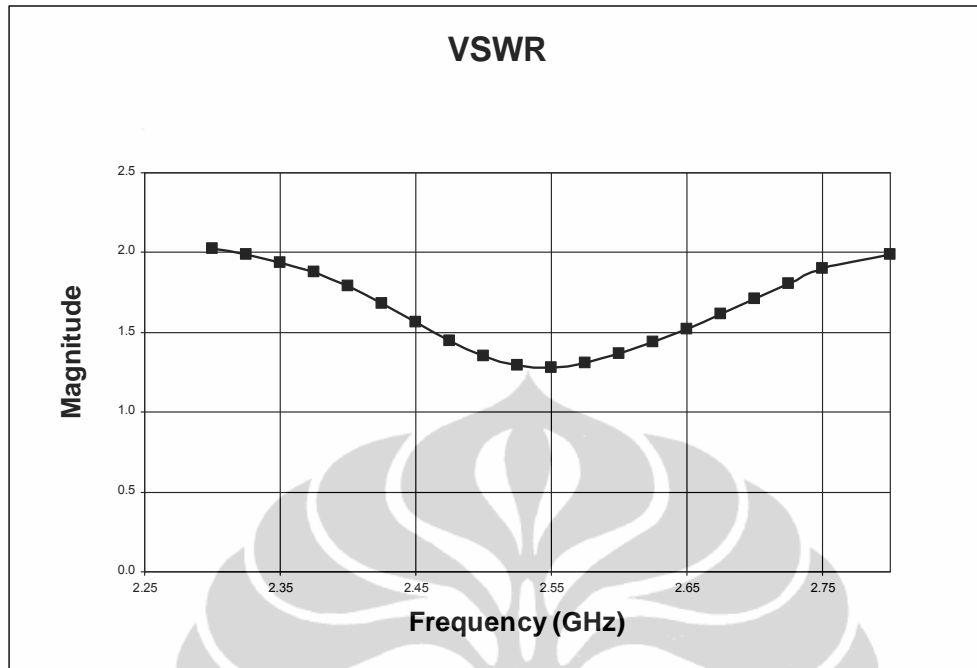
$$\text{bandwidth}_{(VSWR \leq 2)} = \frac{2,745 - 2,45}{2,55} \times 100\% = 11,56\% \text{ (295 MHz)}$$

4.1.1.2. Hasil Pengukuran *Port* Tunggal Coupler dengan garis kurva

Hasil pengukuran *port* tunggal terhadap coupler dengan garis kurva, seperti yang ada pada lampiran 1, dibuat berupa grafik *reflection loss* dan VSWR dapat dilihat pada Gambar 4.3, dan 4.4 secara berurutan.



Gambar 4.3 Grafik *reflection loss* hasil pengukuran coupler dengan garis kurva



Gambar 4.4 Grafik VSWR hasil pengukuran coupler dengan garis kurva

Dari Gambar 4.3 dapat dilihat bahwa nilai *reflection loss* yang diperoleh pada frekuensi 2,4 GHz, 2,55 GHz dan 2,7 GHz masing-masing adalah -10,969 dB, -17,898 dB dan -11,655 dB. Nilai *reflection loss* terendah yang diperoleh adalah -18,279 dB pada frekuensi 2,57GHz. Sedangkan nilai VSWR yang diperoleh pada frekuensi 2,4 GHz dan 2,7 GHz (Gambar 4.4) masing-masing adalah 1,8773 dan 1,6122 dengan nilai VSWR terendah yang dicapai adalah 1,2784 pada frekuensi 2,57 GHz. Dari hasil pengukuran ini dapat diketahui bahwa *bandwidth* coupler pada nilai VSWR ≤ 2 adalah:

$$\text{bandwidth}_{(VSWR \leq 2)} = \frac{2,8 - 2,345}{2,55} \times 100\% = 17,84\% \text{ (455 MHz)}$$

Hasil pengukuran *port* tunggal untuk kedua coupler ini dituliskan kembali pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Hasil Pengukuran *Port* Tunggal

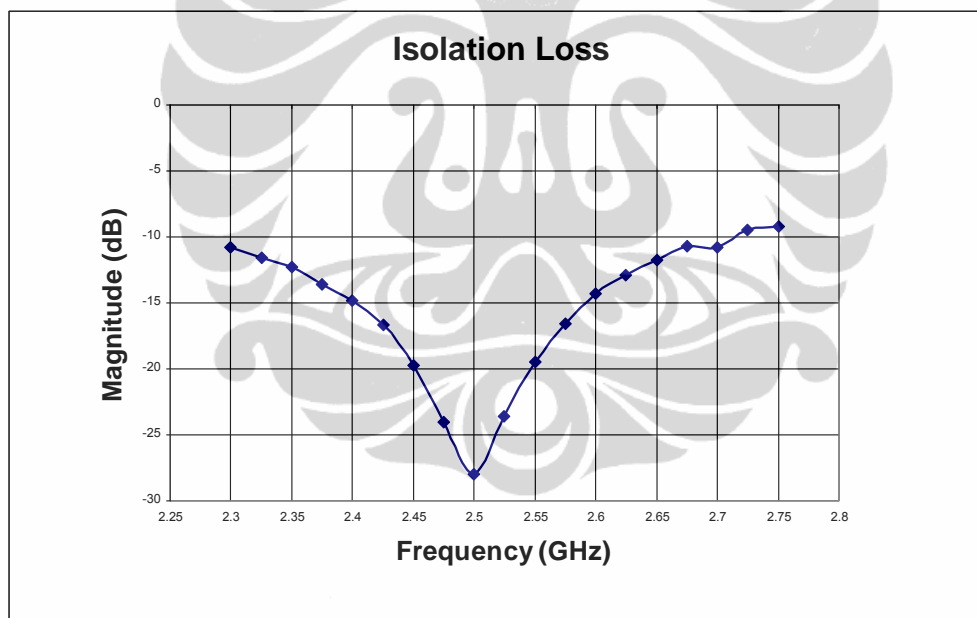
Coupler	Reflection Loss			VSWR		
	2.4 GHz	2.55 GHz	2.7 GHz	2.4 GHz	2.55 GHz	2.7 GHz
FR4	-9.6557	-22.872	-10.724	2.245	1.631	1.6452
FR4 Curved	-10.969	-17.898	-11.655	1.8773	1.2932	1.6122

4.1.2. Pengukuran *Port Ganda*

Pengukuran *port ganda* menggunakan *port 1* dan *port 2* pada *network analyzer*. Format yang digunakan adalah S_{21} yaitu *port coupled* coupler berada pada *port 2* sedangkan *port input* coupler pada *port 1*. Kedua port dihubungkan ke setiap *port NA* menggunakan kabel *coaxial* yang memiliki impedansi karakteristik 50 Ω . Sedangkan dua *port* coupler lainnya di terminasi.

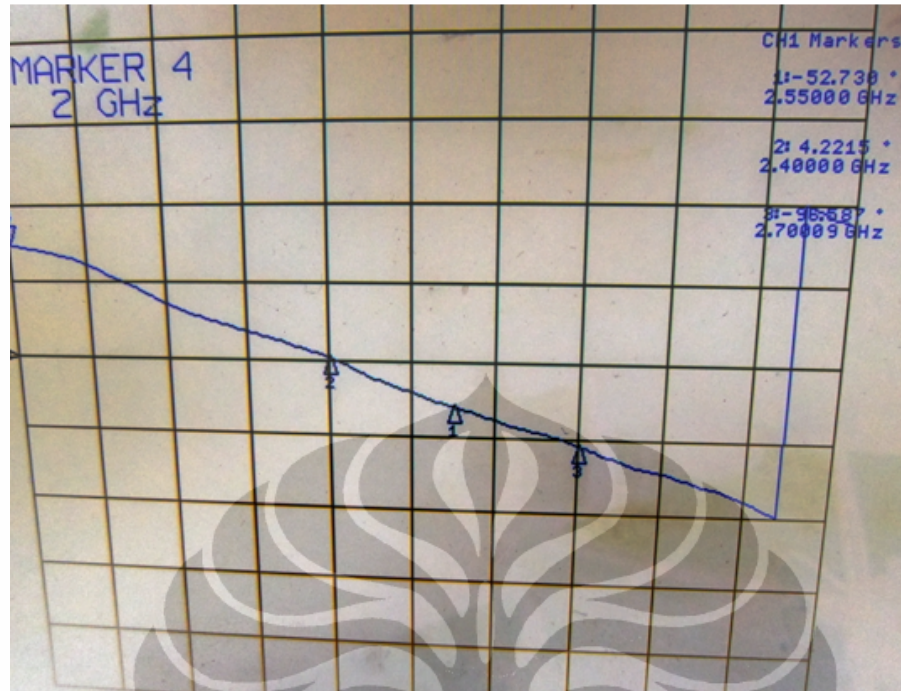
4.1.2.1. Hasil Pengukuran *Port Ganda* Coupler tanpa Kurva

Parameter yang diukur pada pengukuran *port ganda* untuk coupler tanpa kurva ini adalah parameter *isolation loss* dan *coupling* coupler. Hasil pengukuran *isolation loss*, seperti yang ada pada lampiran 1, dibuat berupa grafik dapat dilihat pada Gambar 4.5.

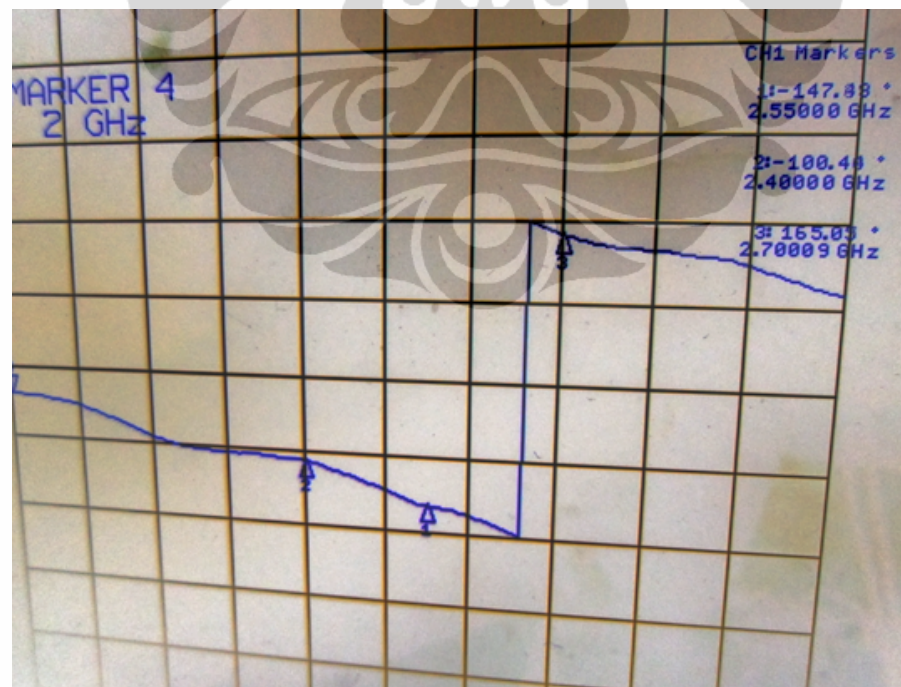


Gambar 4.5. Grafik *Isolation loss* hasil pengukuran coupler tanpa kurva

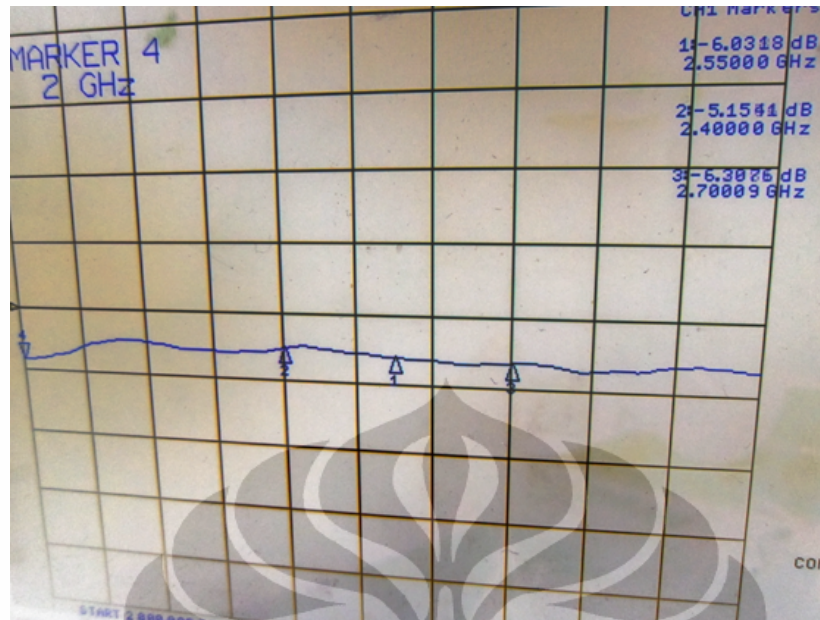
Hasil pengukuran untuk nilai *phase* dan *magnitude coupling* dapat dilihat pada Gambar 4.6, 4.7, 4.8 dan 4.9 secara berurutan



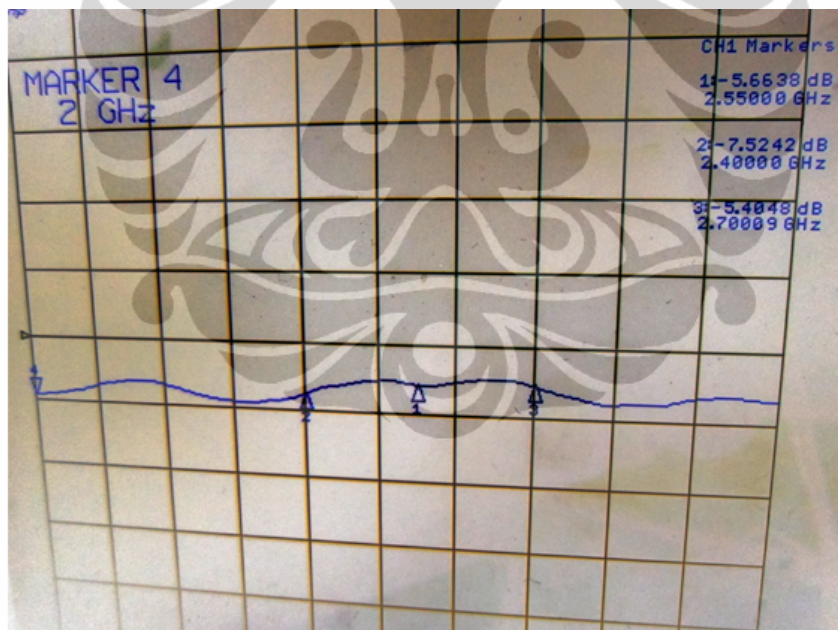
Gambar 4.6 Nilai *Phase coupling* (S31) hasil pengukuran coupler tanpa kurva



Gambar 4.7. Nilai *Phase coupling* (S41) hasil pengukuran coupler tanpa kurva



Gambar 4.8 Nilai *Magnitude coupling* (S31) hasil pengukuran coupler tanpa kurva



Gambar 4.9. Nilai *Magnitude coupling* (S41) hasil pengukuran coupler tanpa kurva

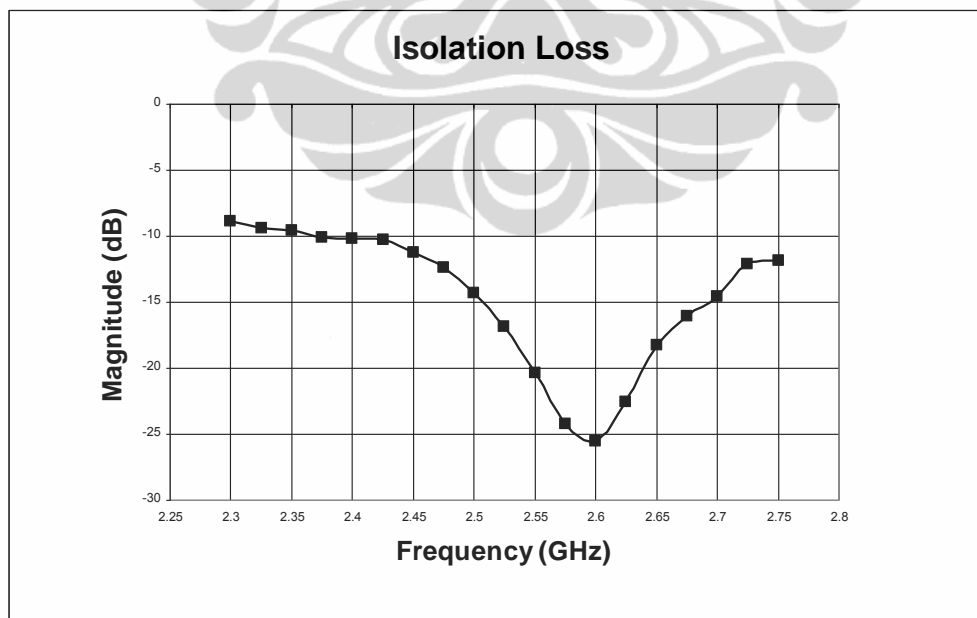
Pada Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa nilai *isolation loss* yang diperoleh pada frekuensi 2,4 GHz, 2,55 GHz dan 2,7 GHz masing-masing adalah -15,054 dB, -20,095 dB dan -10,683 dB. Nilai *isolation loss* terendah yang diperoleh

adalah -28,006 dB pada frekuensi 2,5 GHz. Dari Gambar 4.6 diperoleh nilai *phase* (S31) pada frekuensi 2,4 GHz, 2,55 GHz dan 2,7 GHz berturut-turut sebagai berikut $-100,40^\circ$, $-147,13^\circ$ dan $165,05^\circ$. Dan dari Gambar 4.7 diperoleh nilai *phase* (S41) pada frekuensi 2,4 GHz, 2,55 GHz dan 2,7 GHz berturut-turut sebagai berikut $4,221^\circ$, $-52,73^\circ$ dan $-96,58^\circ$.

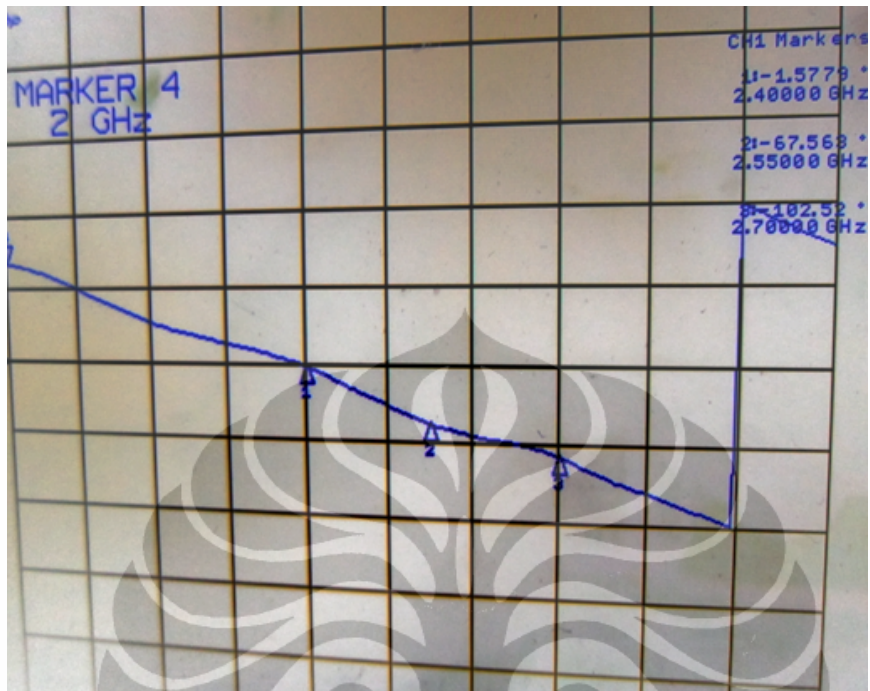
Dari Gambar 4.8 diperoleh nilai *magnitude* (S31) pada frekuensi 2,4 GHz, 2,55 GHz dan 2,7 GHz berturut-turut sebagai berikut -5,1541 dB, -6,0318 dB dan -6,3076 dB. Dan dari Gambar 4.9 diperoleh nilai *magnitude* (S41) pada frekuensi 2,4 GHz, 2,55 GHz dan 2,7 GHz berturut-turut sebagai berikut -7,5242 dB, -5,6638 dB dan -5,4048 dB.

4.1.2.2. Hasil Pengukuran *Port* Ganda Coupler dengan Garis Kurva

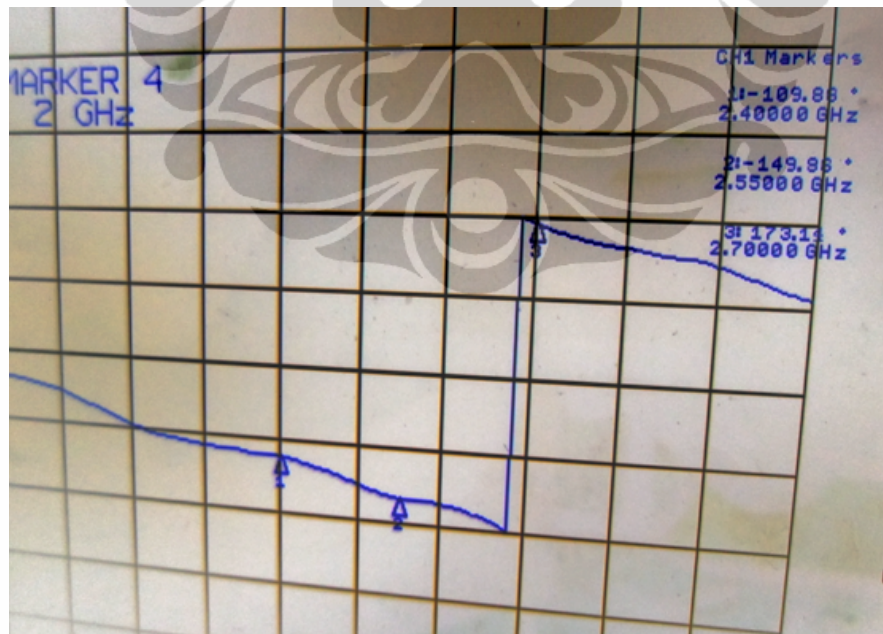
Parameter yang diukur pada pengukuran *port* ganda untuk coupler dengan garis kurva ini adalah parameter *isolation loss* dan *coupling* coupler. Hasil pengukuran *isolation loss*, seperti yang ada pada lampiran 1, dibuat berupa grafik dapat dilihat pada Gambar 4.10 Hasil pengukuran untuk nilai *phase* dan *magnitude coupling* dapat dilihat pada Gambar 4.11, 4.12, 4.13 dan 4.14 secara berurutan.



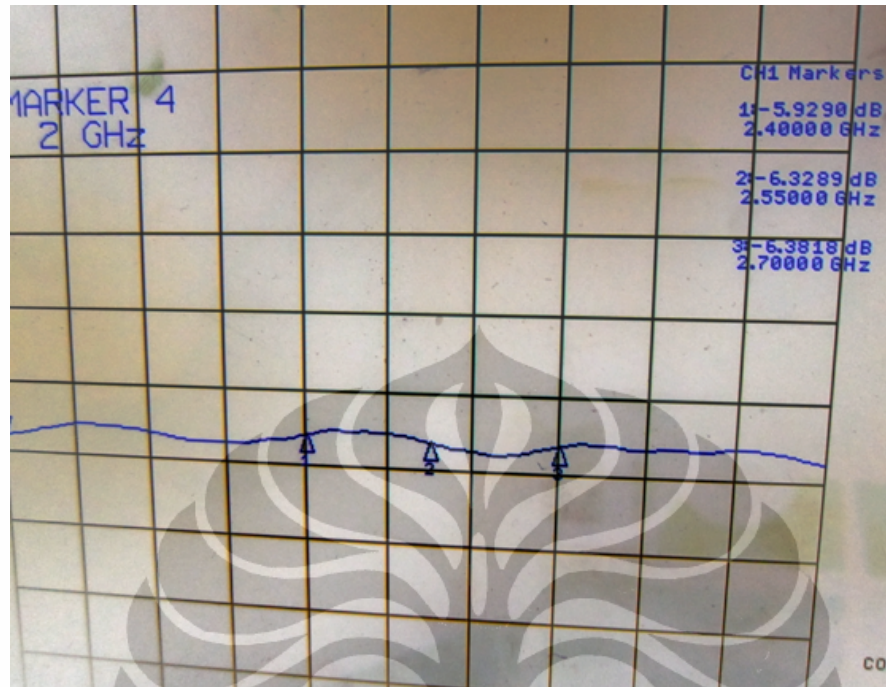
Gambar 4.10. Grafik *Isolation loss* hasil pengukuran coupler dengan garis kurva



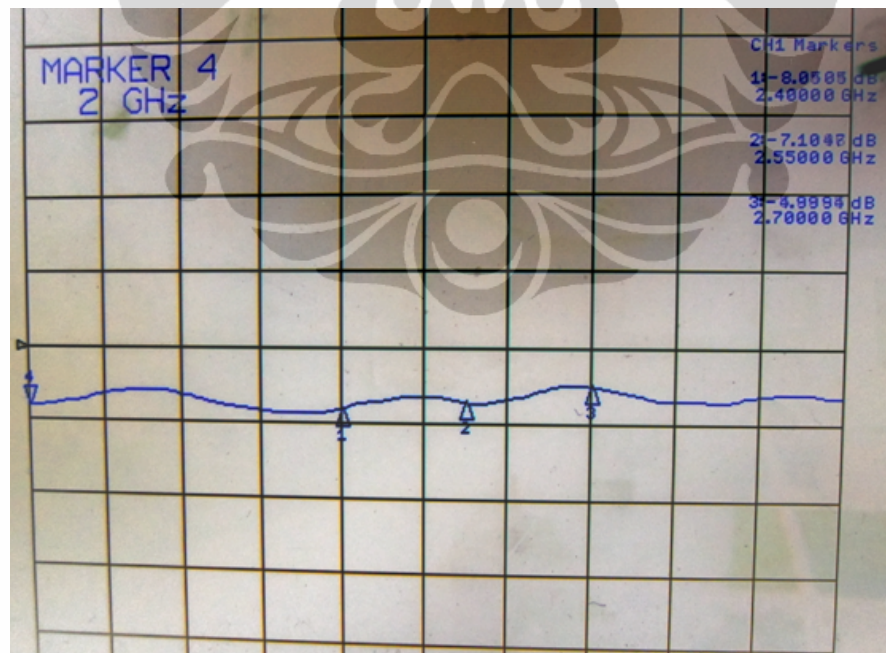
Gambar 4.11. Nilai *Phase coupling* (S31) hasil pengukuran coupler dengan garis kurva



Gambar 4.12. Nilai *Phase coupling* (S41) hasil pengukuran coupler dengan garis kurva



Gambar 4.13. Nilai *Magnitude coupling* (S31) hasil pengukuran coupler dengan garis kurva



Gambar 4.14. Nilai *Magnitude coupling* (S41) hasil pengukuran coupler dengan garis kurva

Pada Gambar 4.10 dapat dilihat bahwa nilai *isolation loss* yang diperoleh

pada frekuensi 2,4 GHz, 2,55 GHz dan 2,7 GHz masing-masing adalah -10,217 dB, -20,422 dan -14,215 dB. Nilai *isolation loss* terendah yang diperoleh adalah -25,514 dB pada frekuensi 2,6 GHz. Dari Gambar 4.11 diperoleh nilai *phase* (S31) pada frekuensi 2,4 GHz, 2,55 GHz dan 2,7 GHz berturut-turut sebagai berikut -1,5779 °, -67,568 ° dan -102,52 °. Dan dari Gambar 4.12 diperoleh nilai *phase* (S41) pada frekuensi 2,4 GHz, 2,55 GHz dan 2,7 GHz berturut-turut sebagai berikut -109,88 °, -149,86 ° dan 173,14 °

Dari Gambar 4.13 diperoleh nilai *magnitude* (S31) pada frekuensi 2,4 GHz, 2,55 GHz dan 2,7 GHz berturut-turut sebagai berikut -5,929 dB, -6,3289 dB dan -6,3818 dB. Dan dari Gambar 4.14 diperoleh nilai *magnitude* (S41) pada frekuensi 2,4 GHz, 2,55 GHz dan 2,7 GHz berturut-turut sebagai berikut -8,0505 dB, -7,1047 dB dan -4,9991 dB.

Tabel 4.2 dan 4.3 menunjukkan hasil yang diperoleh pada pengukuran *port* ganda untuk nilai *phase* dan *magnitude coupling* dari tiap-tiap coupler

Tabel 4.2. Hasil pengukuran *phase coupling*

Substrat	Frequency								
	f = 2.4 GHz			f = 2.55 GHz			f = 2.7 GHz		
	S13	S14	ϕ	S13	S14	ϕ	S13	S14	ϕ
FR4	-100.4	4.2	-104.6	-147.13	-52.73	-94.4	165.05	-96.58	81.63
FR4	-1.578	-109.9	-108.3	-67.57	-149.86	-82.3	-102.52	173.14	95.66
curve									

Tabel 4.3. Hasil pengukuran *magnitude coupling*

Coupler	f = 2.4 GHz			f = 2.55 GHz			f = 2.7 GHz		
	S31 (dB)	S41 (dB)	mean (dB)	S31 (dB)	S41 (dB)	mean (dB)	S31 (dB)	S41 (dB)	mean (dB)
FR4	-5.154	-7.524	-6.339	-6.032	-5.664	-5.848	-6.308	-5.405	-5.856
FR4	-5.929	-8.050	6.989	-6.329	-7.105	-6.717	-6.818	-4.999	-5.908
Curve									

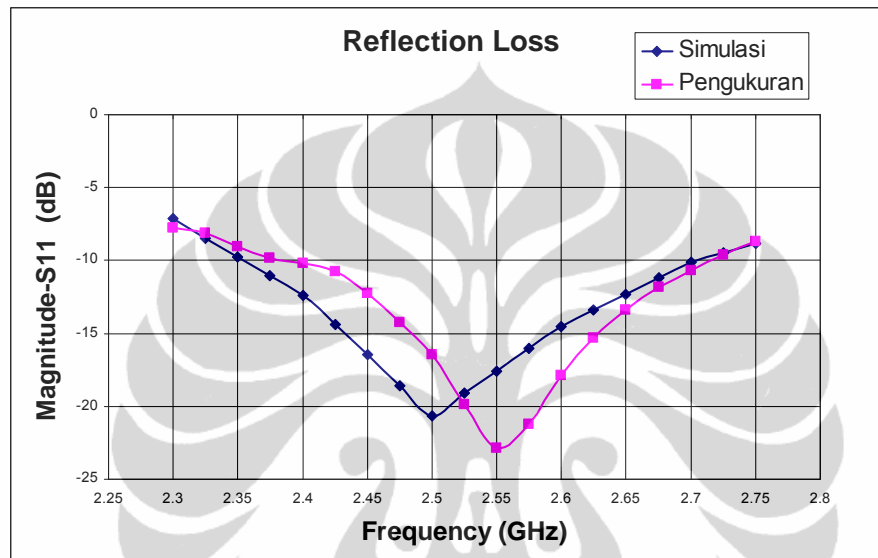
4.2. ANALISIS HASIL PENGUKURAN

Dari data hasil pengukuran yang ada pada sub-bab 4.1 dapat dilakukan analisis. Analisis yang dilakukan pada bagian ini mencakup analisis mengenai perbedaan hasil pengukuran dengan simulasi (untuk pengukuran *port* tunggal dan *port* ganda).

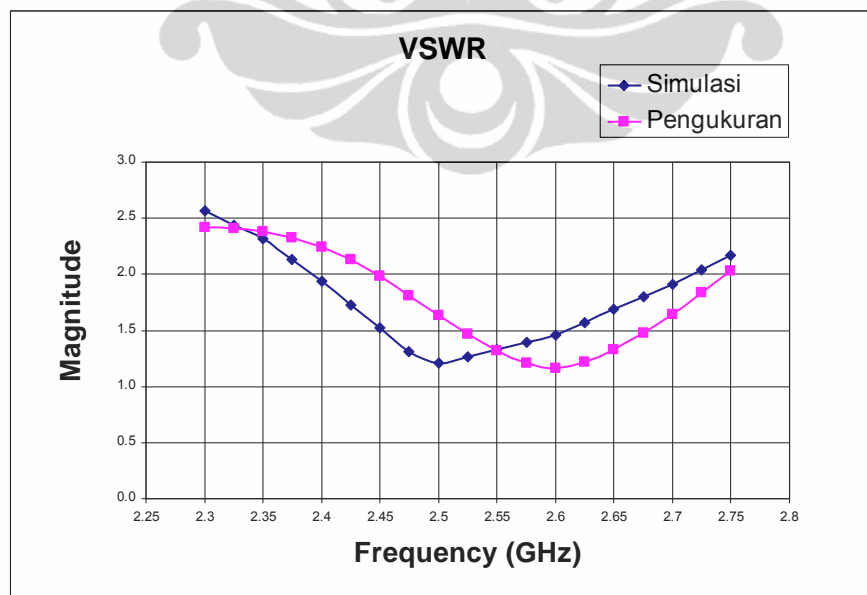
4.2.1. Analisis Hasil Pengukuran *Port Tunggal*

4.2.1.1. Coupler tanpa Kurva

Dari hasil pengukuran *port tunggal* terdapat 2 parameter yang dianalisis, yaitu parameter *reflection loss* dan VSWR. Gambar 4.15 dan 4.16 secara berurutan digambarkan grafik perbandingan *reflection loss* dan VSWR antara hasil simulasi dengan hasil pengukuran untuk coupler tanpa kurva.



Gambar 4.15. Perbandingan *reflection loss* hasil simulasi dengan hasil pengukuran coupler tanpa kurva



Gambar 4.16. Perbandingan VSWR hasil simulasi dengan hasil pengukuran coupler tanpa kurva

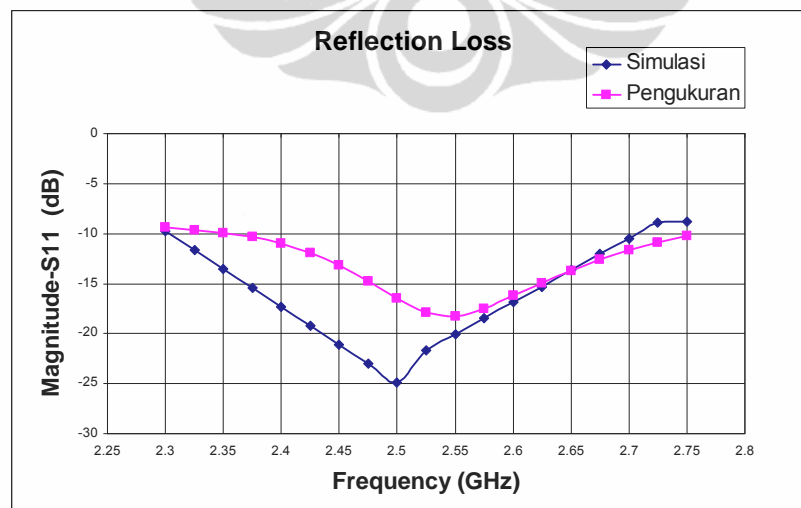
Dari Gambar 4.15 dan 4.16 dapat dilihat bahwa ada pergeseran *reflection loss* dan *bandwidth coupler* tanpa kurva hasil simulasi dengan hasil pengukuran. *Bandwidth* pada $VSWR = 2$ hasil simulasi adalah 2,706 - 2,393 GHz (313 MHz). Sedangkan *bandwidth* pada $VSWR = 2$ hasil pengukuran adalah 2,745 - 2,45 GHz (295 MHz). Juga dapat dilihat bahwa nilai *reflection loss* coupler untuk rentang frekuensi 2,4 – 2,7 GHz dapat memenuhi nilai yang diinginkan yaitu ≥ 10 dB. Perbandingan antara hasil simulasi dengan hasil pengukuran coupler tanpa kurva dituliskan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4. Perbandingan hasil simulasi dengan pengukuran *port* tunggal Coupler tanpa kurva

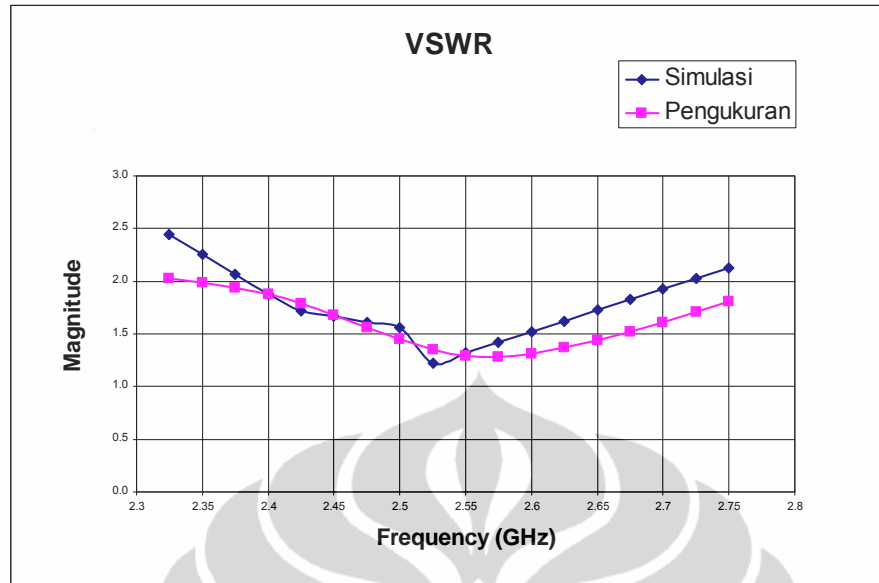
Parameter	Hasil Simulasi	Hasil Pengukuran
Reflection Loss dan VSWR pada 2,4 GHz	RL = -14.76 dB VSWR = 1.943	RL = -9.6557 dB VSWR = 2.245
Reflection Loss dan VSWR pada 2,55 GHz	RL = -18.27 dB VSWR = 1.397	RL = -22.872 dB VSWR = 1.321
Reflection Loss dan VSWR pada 2,7 GHz	RL = -11.03 dB VSWR = 1.98	RL = -10.724 dB VSWR = 1.6452
<i>Bandwidth</i> pada $VSWR = 2$	12.27 % (313 MHz)	11.57 % (295 MHz)

4.2.1.2. Coupler dengan Kurva

Perbandingan *reflection loss* dan VSWR antara hasil simulasi dan pengukuran coupler dengan kurva ditunjukkan pada Gambar 4.17 dan 4.18.



Gambar 4.17. Perbandingan *reflection loss* hasil simulasi dengan hasil pengukuran coupler dengan kurva



Gambar 4.18. Perbandingan VSWR hasil simulasi dengan hasil pengukuran coupler dengan kurva

Dari Gambar 4.17 dapat dilihat bahwa adanya perbedaan bentuk kurva antara hasil simulasi dengan hasil pengukuran, namun nilai reflection loss dari hasil pengukuran untuk rentang 2,4 – 2,7 GHz masih dalam batas nilai yang diinginkan yaitu -10 dB. Dan pada Gambar 4.18 dapat dilihat bentuk kurva hasil pengukuran mendekati bentuk kurva hasil simulasi. *Bandwidth* pada VSWR ≤ 2 hasil simulasi adalah 2,727 - 2,374 GHz (353 MHz). Sedangkan *bandwidth* pada VSWR ≤ 2 hasil pengukuran adalah 2,8 - 2,345 GHz (455 MHz). Dengan demikian, fabrikasi coupler dengan kurva ini telah memenuhi kebutuhan yang diinginkan yaitu mampu bekerja pada rentang frekuensi 2,4 – 2,7 GHz dengan nilai VSWR ≤ 2 dan nilai reflection loss ≥ -10 dB.

Perbandingan antara hasil simulasi dengan hasil pengukuran dari coupler dengan kurva dituliskan pada Tabel 4.5.

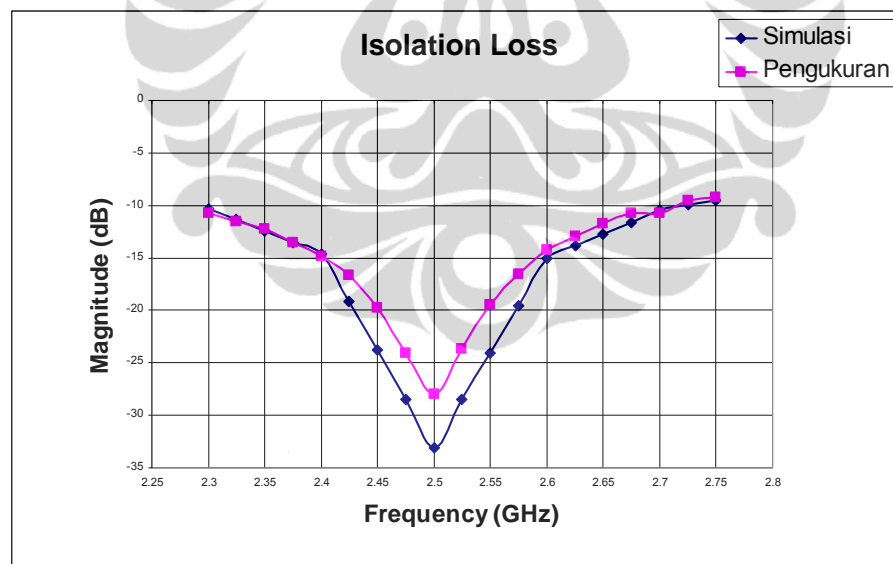
Tabel 4.5. Perbandingan hasil simulasi dengan pengukuran *port* tunggal Coupler dengan kurva

Parameter	Hasil Simulasi	Hasil Pengukuran
Reflection Loss dan VSWR pada 2,4 GHz	RL = -17,3 dB VSWR = 1,8770	RL = -10.969 dB VSWR = 1,8773
Reflection Loss dan VSWR pada 2,55 GHz	RL = -21.68 dB VSWR = 1,3230	RL = -17.898 dB VSWR = 1,2932
Reflection Loss dan VSWR pada 2,77 GHz	RL = -12.05 dB VSWR = 1,9230	RL = -11.655 dB VSWR = 1,6122
Bandwidth pada VSWR 2	13.84 % (353MHz)	17.84 % (455 MHz)

4.2.2. Analisis Hasil Pengukuran *Port* Ganda

4.2.2.1. Coupler tanpa Kurva

Dari hasil pengukuran *port* ganda terdapat 2 parameter yang dianalisis, yaitu parameter *isolation loss* dan *phase coupling*. Gambar 4.19 memperlihatkan grafik perbandingan *isolation loss* antara hasil simulasi dengan hasil pengukuran untuk coupler tanpa kurva.



Gambar 4.19. Perbandingan *isolation loss* hasil simulasi dengan hasil pengukuran coupler tanpa kurva

Dari Gambar 4.19 terlihat bahwa kurva hasil pengukuran memiliki bentuk yang sama dengan kurva hasil simulasi, namun nilai *Isolation loss*nya tidak setinggi hasil simulasi. Nilai *Isolation loss* hasil pengukuran berada pada nilai

yang diinginkan yaitu 10 dB. Perbandingan antara hasil simulasi dengan hasil pengukuran dari coupler dengan kurva dituliskan pada Tabel 4.6

Tabel 4.6. Perbandingan hasil simulasi dengan pengukuran *port* ganda Coupler tanpa kurva untuk Isolation Loss

Parameter	Hasil Simulasi	Hasil Pengukuran
Isolation Loss pada 2,4 GHz	-14.69 dB	-14.847 dB
Isolation Loss pada 2,55 GHz	-24.04 dB	-19.455 dB
Isolation Loss pada 2,77 GHz	-10.44 dB	-10.78 dB

Dari hasil pengukuran untuk phase dan magnitude coupling antara hasil simulasi dan hasil pengukuran dapat disajikan dalam tabel 4.7 berikut :

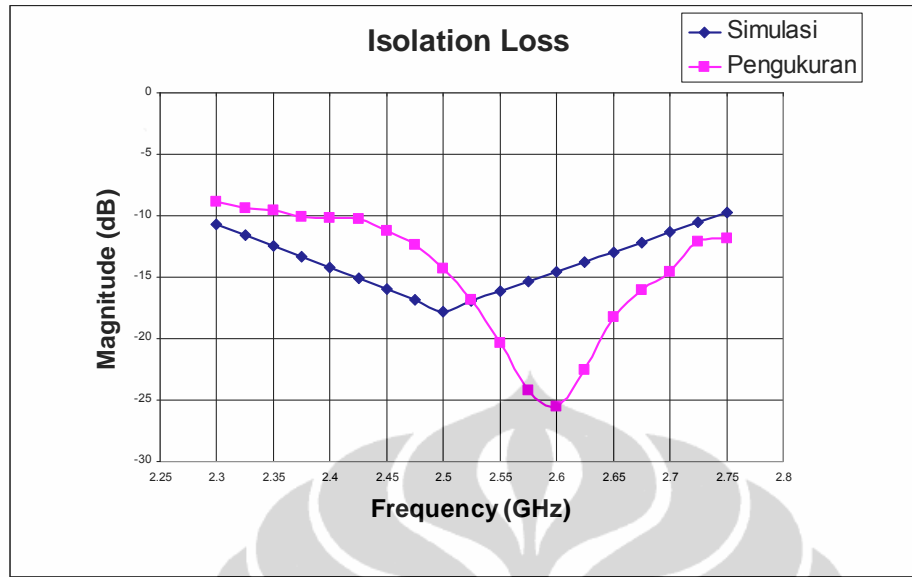
Tabel 4.7. Perbandingan hasil simulasi dengan pengukuran *port* ganda Coupler tanpa kurva untuk coupling factor

Tanpa kurva	2.4 GHz		2.55 GHz		2,7 GHz	
	ϕ	Magnitude (dB)	ϕ	Magnitude (dB)	ϕ	Magnitude (dB)
Simulasi	106.15	5.109	91.33	4.443	86.25	5.229
Pengukuran	-104.6	-6.339	-94.4	-5.848	81.63	-5.856

Dari tabel dapat dilihat bahwa nilai beda phase hasil pengukuran frekuensi 2,55 GHz hampir mendekati nilai hasil simulasi. Sehingga dapat dikatakan bahwa hasil fabrikasi cukup baik, masih dalam nilai parameter coupler yang ditetapkan.

4.2.2.2. Coupler dengan Kurva

Perbandingan *isolation loss* antara hasil simulasi dan hasil pengukuran coupler dengan kurva ditunjukkan pada Gambar 4.20



Gambar 4.20. Perbandingan *isolation loss* hasil simulasi dengan hasil pengukuran coupler dengan kurva

Dari Gambar 4.20 dapat dilihat bahwa kurva hasil pengukuran menunjukkan kinerja yang baik dibandingkan kurva hasil simulasi, walaupun terjadi pergeseran kurva. Namun demikian dari hasil pengukuran dapat dinyatakan bahwa coupler dengan kurva hasil fabrikasi memiliki nilai *isolation loss* 10 dB pada rentang frekuensi 2,4 – 2,7 GHz. Perbandingan antara hasil simulasi dengan hasil pengukuran dari coupler dengan kurva dituliskan pada Tabel 4.8

Tabel 4.8. Perbandingan hasil simulasi dengan pengukuran *port* ganda Coupler dengan kurva untuk *Isolation Loss*

Parameter	Hasil Simulasi	Hasil Pengukuran
Isolation Loss pada 2,4 GHz	-14.24 dB	-14.14 dB
Isolation Loss pada 2,55 GHz	-16.16 dB	-20.422 dB
Isolation Loss pada 2,77 GHz	-11.35 dB	-14.57 dB

Dari hasil pengukuran untuk phase dan magnitude coupling antara hasil simulasi dan hasil pengukuran dapat disajikan dalam tabel 4.9 berikut :

Tabel 4.9. Perbandingan hasil simulasi dengan pengukuran *port* ganda Coupler dengan kurva untuk coupling factor

Kurva	2.4 GHz		2.55 GHz		2,7 GHz	
	ϕ	Magnitude (dB)	ϕ	Magnitude (dB)	ϕ	Magnitude (dB)
Simulasi	110.31	-5.178	90.88	-4.493	81.98	-5.156
Pengukuran	-108.3	-6.989	-82.3	-6.717	95.66	-5.908

Dari tabel 4.8 dapat dilihat bahwa nilai hasil pengukuran cukup mendekati nilai hasil simulasi. Dengan demikian coupler dengan kurva hasil fabrikasi dapat dikatakan cukup baik, karena masih dalam nilai parameter yang diinginkan.

Secara keseluruhan, hasil pengukuran untuk frekuensi 2.55 GHz dari coupler fabrikasi menunjukkan parameter yang berada dalam nilai yang diinginkan. Nilai phase coupling yang dihasilkan masih dalam kisaran toleransi $90 \pm 5^\circ$ [12]. Demikian juga dengan nilai magnitude yang dihasilkan masih dalam kisaran 3 – 9 dB [12]. Untuk frekuensi lainnya, nilai yang diperoleh dari hasil pengukuran masih dapat ditoleransi, mengingat nilai karakteristik impedansi dari terminator yang digunakan tidak sesuai dengan yang diharapkan yaitu 50 ohm.

4.2.3. Analisis Kesalahan Umum

Secara garis besar ada beberapa penyebab yang menyebabkan hasil pengukuran parameter coupler tidak akurat. Penyebab-penyebab itu antara lain :

1. Terminator 50 ohm yang digunakan untuk menterminasi port-port coupler, dari hasil pengukuran dengan menggunakan network analyzer tidak menunjukkan nilai yang seharusnya. Hal ini memberikan pengaruh besar terhadap hasil pengukuran pada coupler yang difabrikasi.
2. bahan substrat FR4 memiliki nilai toleransi konstanta dielektrik substrat yaitu sekitar $\epsilon_r = 4,3 \pm 0,02$ serta adanya nilai toleransi pada *loss tangent* substrat.
3. proses penyolderan konektor SMA dengan saluran pencatu mikrostrip yang kurang baik
4. adanya rugi-rugi pada kabel penghubung, *port* SMA, tembaga/konduktor pada substrat, dan konektor pada *network analyzer*.