

Pengukuran Koefisien Refleksi Dinding "Anechoic Chamber" pada Frekuensi Gelombang Mikro Band-X menggunakan Teknik Gelombang Berdiri

Budi Aswoyo

Abstrak—Makalah ini menyajikan hasil studi pengukuran koefisien refleksi dinding *anechoic chamber* Laboratorium Microwave, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya (PENS), Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS), untuk aplikasi gelombang mikro frekuensi band-X, tepatnya frekuensi 8.500 MHz sampai 10.500 GHz. Pengukuran dilakukan dengan "standing wave detector" yang berfungsi untuk mengetahui fenomena gelombang berdiri, yang dikarakteristikan dengan parameter "voltage standing wave ratio (VSWR)", dan dapat dihitung besar koefisien refleksi dari dinding *anechoic chamber*. Pengukuran dilakukan dengan arah gelombang datang membentuk sudut datang normal (tegak lurus terhadap permukaan dinding *anechoic chamber*), dengan mengambil tiga pola titik pengukuran yang berbeda. Pola pertama, pengukuran dilakukan pada titik puncak piramida dinding *anechoic chamber*. Pola kedua, pada titik perbatasan antara dua dinding piramida, sedangkan pola ketiga, pada titik sudut antara empat dinding piramida. Dari pengukuran tiga pola titik pengukuran yang berbeda diperoleh hasil, bahwa pada range frekuensi 8.500 MHz sampai 10.500 MHz, besar koefisien refleksi rata-rata 6,04% (-24,38 dB) untuk pola pertama, 7,83% (-22,12 dB) untuk pola kedua, dan 9,71% (-20,26 dB) untuk pola ketiga. Bila nilai -20 dB merupakan syarat level ambang maksimum suatu ruang *anechoic chamber*, maka dapat disimpulkan bahwa ruang tersebut masih layak sebagai ruang bebas pantul gelombang mikro pada range frekuensi band-X, tepatnya frekuensi 8.500 sampai 10.500 MHz.

Kata Kunci—Koefisien refleksi, Anechoic chamber, Pengukuran dan Instrumentasi

1 PENDAHULUAN

RUANG *anechoic chamber* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 merupakan ruang bebas pantulan gelombang frekuensi radio (*radio frekuensi = RF*), dapat dikatakan ruang *anechoic chamber* merupakan salah satu aset penting Politeknik Elektronika Negeri Surabaya (PENS), Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Ruang ini sering digunakan sebagai tempat penelitian, terutama untuk mengukur karakteristik kompatibilitas elektro-magnetik. Bahkan beberapa instansi pernah menawarkan kerja-sama untuk menggunakan fasilitas tersebut. Tapi sayangnya, selama ini tidak ada petunjuk pengoperasian (*in-*

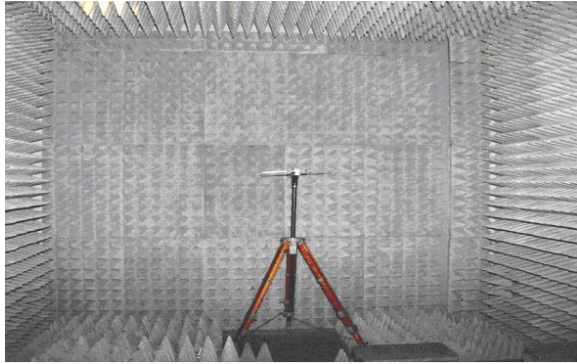
struction manual) yang memberi informasi tentang karakteristik propagasi ruangan tersebut, terutama tentang besar koefisien refleksi (*reflection coefficient*) dari dindingnya (yang merupakan parameter penting dari suatu ruang *anechoic chamber*) [1].

Untuk mengukur koefisien refleksi *anechoic chamber*, layaknya dilakukan dengan menggunakan *network analyzer* [1]. Kesulitan klasik selama ini, disebabkan tidak adanya perangkat *network analyzer* yang tersedia untuk digunakan dalam pengukuran koefisien refleksi untuk *range* frekuensi tersebut. Untuk melaksanakan pengukuran ini, dilakukan pengembangan atau penambahan peralatan yang ada di laboratorium PENS (terutama Laboratorium Microwave).

Modifikasi trainer microwave merk ANDO dengan berbagai kelengkapannya, ditambah dengan antena horn konikal yang dapat berop-

- Budi Aswoyo, Jurusan Teknik Telekomunikasi, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Jl. Raya ITS Keputih Sukolilo, Telp: 031-5947280. E-mail: budias@eepis-its.edu.

erasi pada band-X, menjadikan trainer ini siap diaplikasikan untuk mengukur koefisien refleksi anechoic chamber tersebut pada band-X, untuk frekuensi 8.500 MHz sampai 10.500 MHz.



Gambar 1. Ruang anechoic chamber Politeknik Elektronika Negeri Surabaya (PENS) - ITS

2 TINJAUAN TEORI

Pengukuran koefisien refleksi dengan menggunakan teknik gelombang berdiri, merupakan salah satu metode pengukuran yang menggunakan reaksi pantulan dari gelombang datang, dengan bantuan alat yang disebut dengan *standing wave detector*. Alat ini berfungsi sebagai pendeteksi level gelombang berdiri pada saluran transmisi akibat efek interferensi antara gelombang datang dan gelombang refleksi.

2.1 Pengertian Koefisien Refleksi

Pengertian tentang koefisien refleksi secara sederhana dapat diterangkan melalui Gambar 2. Jika suatu sumber mengirimkan gelombang ke suatu obyek melalui suatu saluran transmisi, maka pada saat gelombang tersebut sampai di obyek, kemungkinan akan diterminasi di obyek atau direfleksikan lagi oleh obyek ke sumber.

Besar sinyal yang direfleksikan kembali menuju sumber ini tergantung dari koefisien refleksi pada obyek (disimbolkan dengan $|\Gamma_L|$), yang didefinisikan sebagai perbandingan level tegangan yang datang menuju obyek dengan level tegangan refleksi dari obyek [2].

Jika level tegangan gelombang datang dan gelombang refleksi berurut-turut dinyatakan



Gambar 2. Pengertian koefisien refleksi [2]

dengan V^+ dan V^- , maka besar koefisien refleksi dari obyek tersebut dinyatakan dengan [2],

$$|\tau_r| = \frac{|V^-|}{|V^+|} \quad (\text{tanpa satuan}) \quad (1)$$

Besar koefisien refleksi ini dapat bervariasi antara 0 (nol), yang berarti tanpa refleksi, sampai dengan 1 (satu), yang berarti gelombang yang datang ke obyek seluruhnya direfleksikan kembali oleh obyek tersebut.

2.2 Prinsip Gelombang Berdiri (Standing Wave)

Bila dalam saluran transmisi terdapat gelombang datang dengan level tegangan V^+ dan gelombang refleksi dengan level tegangan V^- , maka dalam saluran tersebut akan terjadi interferensi antara gelombang-gelombang tersebut, yang akhirnya membentuk gelombang berdiri (*standing wave*). Berdasarkan hasil pengukuran, fenomena keberadaan gelombang berdiri ditandai dengan perbedaan level tegangan pada setiap titik posisi di saluran, seperti ditunjukkan Gambar 3. Pada posisi tertentu, level tegangan akan maksimum $|V_{maks}|$ dan $|V_{min}|$ minimum, dimana:

$$|V_{maks}| = |V^+| + |V^-| \quad (2)$$

dan

$$|V_{min}| = |V^+| - |V^-| \quad (3)$$

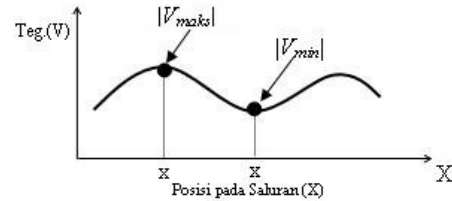
Suatu parameter yang menyatakan kualitas saluran terhadap keberadaan gelombang berdiri disebut dengan *voltage standing wave ratio (VSWR)*, yang didefinisikan sebagai perbandingan (atau ratio) antara level tegangan maksimum dan minimum yang terjadi pada saluran [2], dituliskan:

$$VSWR = \frac{|V_{maks}|}{|V_{min}|} \tag{4}$$

dimana

$|V_{maks}|$ = level tegangan maksimum

$|V_{min}|$ = level tegangan minimum



Gambar 3. Gelombang berdiri dalam saluran transmisi [2]

Substitusi Persamaan 2 dan 3 ke 4 diperoleh:

$$VSWR = \frac{|V^+ + V^-|}{|V^+ - V^-|} \tag{5}$$

atau

$$VSWR = \frac{1 + |V^+/V^-|}{1 - |V^+/V^-|} \tag{6}$$

Dengan substitusi Persamaan 1 ke 6 diperoleh :

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma_L|}{1 - |\Gamma_L|} \tag{7}$$

$$|\Gamma_L| = \frac{VSWR - 1}{VSWR + 1} \tag{8}$$

Persamaan 4 dan 8 merupakan dasar yang digunakan untuk menghitung besar VSWR dari hasil pengukuran dan mencari besar koefisien refleksi yang digunakan dalam penelitian ini.

Selanjutnya, jika daya gelombang datang dan daya gelombang refleksi berturut-turut dinyatakan dengan P^+ dan P^- dan dari Persamaan (1) yang menyatakan $V^- = \Gamma_L V^+$, maka rasio kedua besaran tersebut dapat diuraikan sebagai berikut :

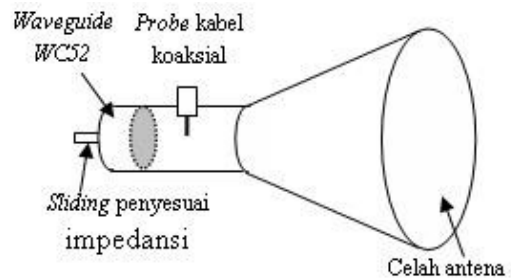
$$\frac{P^-}{P^+} = \frac{(V^-)^2/R}{(V^+)^2/R} = \frac{(\Gamma_L V^+)^2/R}{(V^+)^2/R} = |\Gamma_L|^2 \tag{9}$$

Substitusi Persamaan 8 ke 9 akan diperoleh hubungan antara rasio P^- dan P^+ terhadap VSWR sebagai berikut :

$$\frac{P^-}{P^+} = \left[\frac{VSWR + 1}{VSWR - 1} \right]^2 \tag{10}$$

2.3 Antena Horn Konikal

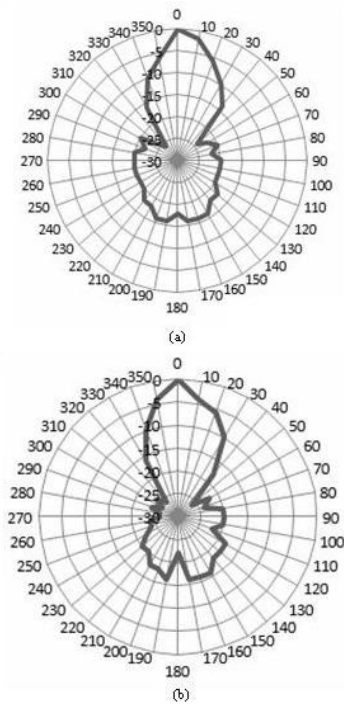
Pertimbangan memilih antena horn konikal dalam pengukuran ini adalah bentuk *side-lobe level* yang relatif sangat kecil (mendekati nol) dan mudah untuk mengatur penyesuaian impedansi [3]. Bila antena ini digunakan pada band-X pada frekuensi 8.500 MHz sampai 10.500 MHz, dengan mengacu standard EIA (*Electronic Industry Association*) dibutuhkan *waveguide* lingkaran tipe WC94, dengan diameter 2,38 cm dan frekuensi *cut-off* 7.377 MHz, dengan frekuensi yang rekomendasi untuk mode TE11 antara 8.490 MHz sampai 11.600 MHz [4].



Gambar 4. Antena horn konikal frekuensi band-X [3]

Dari hasil perancangan diperoleh diameter celah (*aperture*) 15,32 cm, dengan jarak verteks ke bidang celah 24,16 cm. Antena ini dilengkapi dengan *sliding penyesuai impedansi* (Gambar 4).

Antena ini mempunyai pola radiasi direksional (Gambar 5) dengan *halfpower beamwidth* untuk bidang-E = 15° dan bidang-H = 10°, dengan gain sebesar 18,2 dB [5].

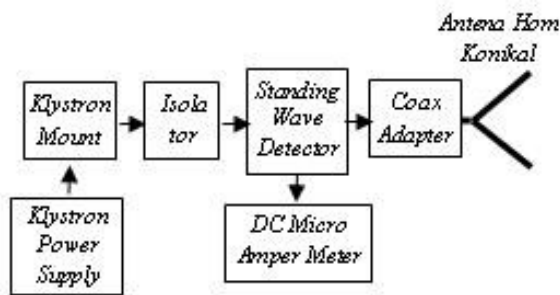


Gambar 5. Pola radiasi antenna horn konikal yang dipakai sebagai pengukuran koefisien refleksi dinding anechoic chamber; (a) pola radiasi bidang-E; (b) pola radiasi bidang-H [5]

3 PENGUKURAN

3.1 Rangkaian Pengukuran

Rangkaian pengukuran koefisien refleksi dinding anechoic chamber menggunakan teknik gelombang berdiri dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Rangkaian pengukuran koefisien refleksi dinding anechoic chamber menggunakan teknik gelombang berdiri

- *Klystron mount*, merk: Ando, type: KMR-105A, Frekuensi kerja 8.000 MHz sampai

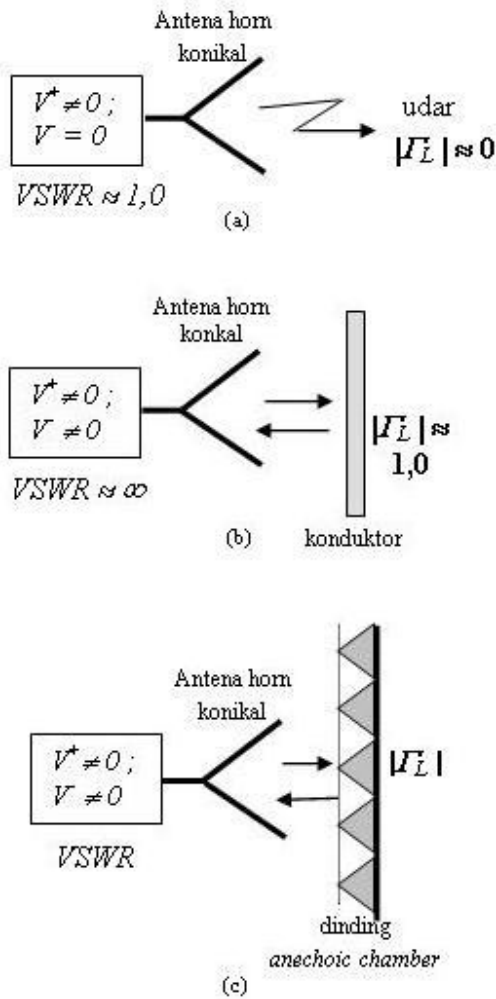
11.000 MHz. Alat ini berfungsi membangkitkan gelombang radio dari 8.500 MHz sampai 10.500 MHz.

- *Klystron power supply*, merk: Ando, type: KPA-102B. Alat ini berfungsi untuk memberi catu daya pada *klystron mount*.
- *Standing wave detector*, merk: Ando, type: SWD-20D, frekuensi kerja 8.200 MHz sampai 11.000 MHz. Alat ini berfungsi sebagai pendeteksi level tegangan gelombang berdiri dalam saluran.
- *Waveguide isolator*. Alat ini berfungsi sebagai peredam gelombang balik.
- *DC micro amper meter*, merk: Yokogawa, type: 2051, level: 30 - 3000 A. Sebagai penunjuk level gelombang dari *standing wave detector*.
- *Coaxial adapter*, merk: Ando; type: CA-30A. Sebagai penyesuai dari *waveguide* ke saluran koaksial.
- *Antena Horn Konikal*. Antena ini berfungsi sebagai perangkat penyesuai (*matching device*) sekaligus media pemancar gelombang dan penerima gelombang yang dipantulkan oleh dinding *anechoic chamber*.

3.2 Metode Pengukuran

Metode pengukuran dalam penelitian ini, dengan menggunakan teknik gelombang berdiri [6][7], seperti ditunjukkan pada Gambar 7.

- Pertama, antenna *horn konikal* dikalibrasi pada suatu frekuensi tertentu. Caranya, antenna ini diarahkan ke udara bebas, seperti Gambar 5a. Dengan mengatur *sliding* penyesuai impedansi pada antenna konikal, diusahakan pada frekuensi ini antenna mempunyai *VSWR* seminim mungkin (mendekati satu). Atau dengan kata lain koefisien refleksi $|\Gamma_L| \approx 0$. Pada keadaan ini antenna dikatakan sesuai (*match*) pada frekuensi ini.
- Kedua, antenna diarahkan ke lempengan/plat konduktor, seperti Gambar 5b. Pada saat ini antenna mempunyai *VSWR* sangat besar (tak berhingga) atau koefisien refleksi $|\Gamma_L| \approx 1, 0$.



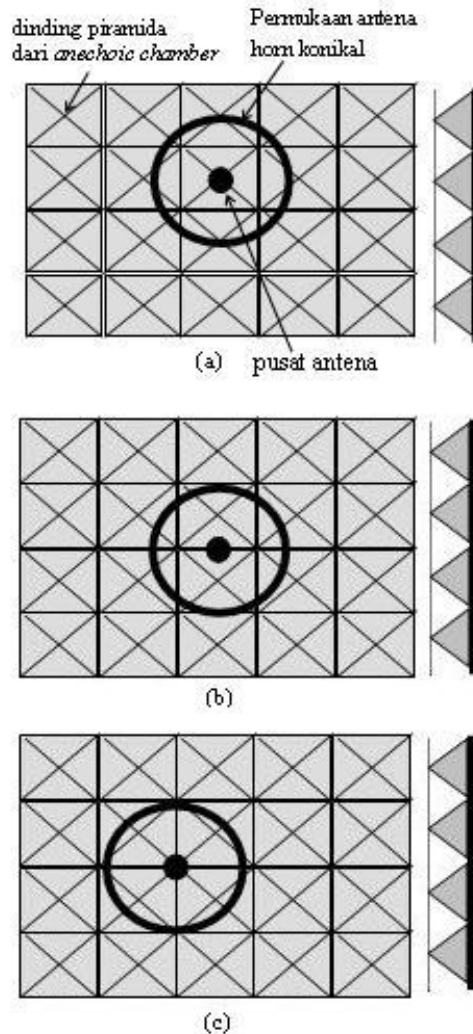
Gambar 7. Metode pengukuran; (a) Pengkalibrasian antena ke udara; (b) Pengarahan antena ke lempengan konduktor; (c) Pengarahan antena ke dinding anechoic chamber

3.3 Pola Pengukuran

Untuk lebih memperoleh hasil yang akurat, pengukuran dilakukan pada tiga pola titik, berdasar posisi bentuk piramida penyusun dinding *anechoic chamber* terhadap pusat antena, seperti pada Gambar 8. Ketiga pola tersebut adalah berikut:

- Pola ke-1: gelombang datang dipancarkan tegak lurus dinding *anechoic chamber* dan diarahkan tepat pada titik puncak piramida (Gambar 8a).
- Pola ke-2: gelombang datang dipancarkan tegak lurus dinding *anechoic chamber* dan diarahkan pada titik perbatasan antara dua dinding piramida (Gambar 8b).

- Pola ke-3: gelombang datang dipancarkan tegak lurus dinding *anechoic chamber* dan diarahkan pada titik sudut antara empat dinding piramida (Gambar 8c).

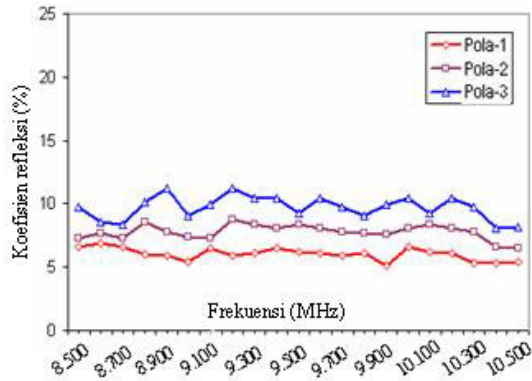


Gambar 8. perbatasan antara dua dinding piramida; (c) Pola ke-3: sudut antara empat dinding piramida

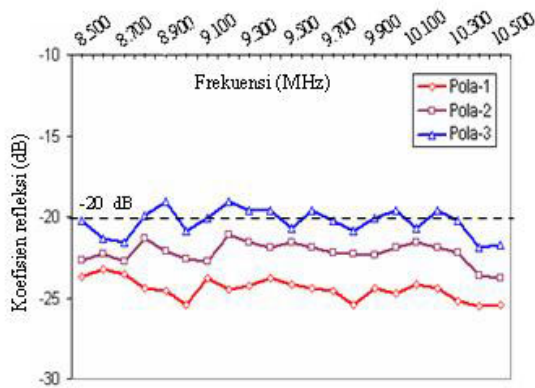
4 HASIL DAN DISKUSI

Hasil pengukuran koefisien refleksi dinding *anechoic chamber* menggunakan teknik gelombang berdiri pada *range* frekuensi 8.500 sampai 10.500 MHz untuk tiga pola pengukuran berturut-turut dapat dilihat pada Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3. Sedangkan grafik koefisien refleksi terhadap frekuensi dalam prosen (%) dan

desibel (dB) berturut-turut dapat dilihat pada Gambar 9 dan Gambar 10.



Gambar 9. Grafik koefisien refleksi (dalam persen) terhadap frekuensi pada range 8.500 sampai 10.500 MHz



Gambar 10. Grafik koefisien refleksi (dB) terhadap frekuensi pada range 8.500 sampai 10.500 MHz

Dari Tabel 1, Tabel 2 dan Tabel 3 diperoleh koefisien refleksi rata-rata sebesar 6,04% (-24,38dB) untuk pola ke-1; 7,83% (-22,12 dB) untuk pola ke-2 dan 9,71% (-20,26dB) untuk pola ke-3.

Berdasarkan Persamaan (7), dapat dikatakan bahwa bila gelombang radio mengenai dinding *anechoic chamber*, akan daya gelombang akan dipantulkan sebesar $(0,0604)^2 = 0,365\%$ untuk pola ke-1, $(0,0783)^2 = 0,613\%$ untuk pola ke-2 dan $(0,0971)^2 = 0,942\%$ untuk pola ke-3. Dengan demikian, dapat dikatakan daya serap rata-rata dinding *anechoic chamber* pola-1 relatif lebih besar 2,26 dB dari pola-2 dan relatif lebih besar 4,12 dB dari pola-3.

Tabel 1
Hasil pengukuran koefisien refleksi dengan pola-1

Frekuensi (MHz)	VSWR	$ \Gamma_L $ (%)	$ \Gamma_L $ (dB)
8.500	1,1402	6,55	-23,67
8.600	1,1482	6,90	-23,22
8.700	1,1463	6,64	-23,56
8.800	1,1324	6,03	-24,40
8.900	1,1285	5,92	-24,55
9.000	1,1085	5,42	-25,40
9.100	1,1295	6,49	-23,75
9.200	1,1304	5,94	-24,52
9.300	1,1263	6,08	-24,23
9.400	1,1295	6,49	-23,75
9.500	1,1388	6,17	-24,20
9.600	1,1315	6,08	-24,41
9.700	1,1285	5,92	-24,55
9.800	1,1285	6,12	-25,40
9.900	1,1304	6,12	-24,40
10.000	1,1395	6,59	-24,75
10.100	1,1388	6,17	-24,20
10.200	1,1315	6,08	-24,41
10.300	1,1235	5,28	-25,22
10.400	1,1117	5,29	-25,52
10.500	1,1060	5,37	-25,43
Rata-Rata		6,04	-24,38

Berdasar Tabel 1, 2 dan 3, serta Gambar 8 dapat dilihat, pada *range* frekuensi 8.500 sampai 10.500 MHz, koefisien refleksi dinding *anechoic chamber* relatif konstan (rata-rata -24,38 dB, -22,12 dB dan -20,26 dB). Bila syarat level ambang maksimum suatu koefisien refleksi *anechoic chamber* sebesar -20 dB [1][6], maka besar koefisien refleksi rata-rata hasil pengukuran ini berada di bawah level ambang tersebut. Dikatakan ruang *anechoic chamber* tersebut masih layak digunakan pengukuran karakteristik radiasi gelombang mikro pada *range* frekuensi band-X.

Tabel 2

Hasil pengukuran koefisien refleksi dengan pola-2

Frekuensi (MHz)	VSWR	$ \Gamma_L $ (%)	$ \Gamma_L $ (dB)
8.500	1,162	7,32	-22,71
8.600	1,166	7,68	-22,29
8.700	1,157	7,30	-22,73
8.800	1,187	8,54	-21,37
8.900	1,169	7,81	-22,15
9.000	1,160	7,42	-22,59
9.100	1,157	7,30	-22,73
9.200	1,193	8,78	-21,13
9.300	1,182	8,32	-21,59
9.400	1,175	8,03	-21,91
9.500	1,182	8,32	-21,59
9.600	1,175	8,03	-21,91
9.700	1,168	7,77	-22,19
9.800	1,141	7,69	-22,32
9.900	1,169	7,58	-22,37
10.000	1,175	8,03	-21,91
10.100	1,182	8,32	-21,59
10.200	1,175	8,03	-21,91
10.300	1,168	7,77	-22,19
10.400	1,141	6,59	-23,62
10.500	1,139	6,48	-23,77
Rata-Rata		7.83	-22.12

Tabel 3

Hasil pengukuran koefisien refleksi dengan pola-3

Frekuensi (MHz)	VSWR	$ \Gamma_L $ (%)	$ \Gamma_L $ (dB)
8.500	1,216	9,74	-20,23
8.600	1,196	8,59	-21,32
8.700	1,182	8,32	-21,59
8.800	1,225	10,10	-19,91
8.900	1,252	11,20	-19,02
9.000	1,199	9,05	-20,87
9.100	1,220	9,93	-20,06
9.200	1,252	11,20	-19,02
9.300	1,234	10,46	-19,61
9.400	1,233	10,46	-19,61
9.500	1,203	9,21	-20,71
9.600	1,234	10,46	-19,61
9.700	1,217	9,76	-20,21
9.800	1,199	9,05	-20,87
9.900	1,220	9,93	-20,06
10.000	1,233	10,46	-19,61
10.100	1,203	9,21	-20,71
10.200	1,234	10,46	-19,61
10.300	1,217	9,76	-20,21
10.400	1,169	8,12	-21,87
10.500	1,172	8,15	-21,77
Rata-Rata		9.71	-20.26

5 KESIMPULAN DAN PERSPEKTIF

Berdasarkan hasil pengukuran pada dinding *anechoic chamber* pada range frekuensi 8.500 MHz sampai 10.500 MHz, diperoleh besar koefisien refleksi rata-rata sebesar 6,04% (-24,38 dB) bila gelombang mikro mengenai puncak piramida, sebesar 7,83% (-22,12 dB) bila mengenai perbatasan antara dua piramida, dan 9,71% (-20,26 dB) bila mengenai sudut perbatasan antara empat piramida.

Bila nilai -20 dB merupakan syarat level ambang maksimum suatu ruang *anechoic chamber*, maka dapat disimpulkan bahwa ruang *anechoic chamber* Politeknik Elektronika Negeri Surabaya (PENS), Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS) masih layak sebagai

ruang bebas pantul gelombang mikro pada range frekuensi band-X, untuk frekuensi 8.500 MHz sampai 10.500 MHz .

Kelemahan dari pengukuran ini adalah tentang penyesuaian impedansi (*matching impedance*) pada antena horn konikal, sehingga antena ini tidak dapat digunakan langsung untuk pengukuran pada range frekuensi kerjanya; 8.500 MHz sampai 10.500 MHz. Artinya, antena horn konikal yang digunakan tidak secara otomatis bekerja pada range frekuensi tersebut, tetapi setiap pergantian frekuensi, harus dilakukan pengkalibrasian ulang.

Untuk kegiatan berikutnya, akan dilakukan pengukuran kelayaan penggunaan *anechoic*

chamber frekuensi gelombang mikro band-Ku, frekuensi 12.000 MHz sampai 14.000 MHz. Peralatan yang telah tersedia di Laboratorium Microwave, antara lain: *signal generator* merk: SPC, tipe: 7S021 (12,1 GHz - 12,8 GHz), 7S022 (12,5 GHz - 13,5 GHz) dan 7S023 (13,4 GHz - 14,4 GHz); *waveguide SW detector*, merk: Nihon Koshuha, tipe: DA-30; dan *standard horn antenna*, merk: Advantest, tipe: 3115, frekuensi operasi antara 1.000 MHz sampai 18.000 GHz.



Budi Aswoyo Penulis lulus S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Industri ITS, bidang studi Telekomunikasi tahun 1988, lulus S2 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Industri ITS, bidang studi Telekomunikasi Multimedia tahun 2002. Penulis tertarik penelitian di bidang teknik antena, kompatibilitas elektromagnetik, dan propagasi gelombang. Saat ini, penulis menjabat Kepala Lab.Komunikasi Nir-Kabel PENS-ITS dan sebagai dosen tetap di Jurusan Telekomunikasi PENS-ITS, Kampus PENS ITS Sukolilo Surabaya; Telp. (031)5947280; Ext.: 3504 (Email: budias@eepis-its.edu).

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada almarhum Dr.Oshamu Makino (JICA Expert untuk PENS-ITS), Prof. M.Shimoshio (Kumamoto National Collage of Technology - Japan) dan Prof. M. Tukoda (Mushashi University - Japan) atas bimbingan dan petunjuk teknis yang telah diberikan, sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Unit Penelitian PENS-ITS atas dukungan dana untuk kegiatan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Roger A.McConnel, Clack Vitek, *Callibration of Fully Anechoic Rooms and Correlation with OATS Measurements*,IEEE 1996, International Symposium on EMC, pp.134-139, 1996.
- [2] Fawwaz T.Ulaby, *Fundamentals of Applied Electromagnetics, Ed., Printice Hall International, Inc., 2001.*
- [3] Constantine A. Balanis, *Antenna Theory, Analysis and Design, 2-nd Ed., John Willey and Sons, New York, 2005.*
- [4] Dixon, M.W., G3PFR, *Microwave Hand-book*, RSGB, vol.1, 1991.
- [5] Budi Aswoyo, Zaenal Muludi, *Rancang Bangun Antena Horn Konikal untuk Frekuensi Band-X*, Laporan Penelitian PENS-ITS, 1998.
- [6] T. Kawashima, J.C. Aquino, M.Tokuda, *Evaluation of Anechoic Chamber Characteristics using Optically Driven Imitated Equipment*, Tokyo International Symposium on EMC, pp.244-247, 1999.
- [7] Budi Aswoyo, O.Makino, Y.Shimoshio, M. Tokuda, *A Measurement Method for Reflection Coefficient of Anechoic Chamber using Standing Wave Techniques for L-Band*, Proceeding, IEEE Asia-Pacific Conference on Circuits and Systems 2002, 28 -31 October 2002, Kartika Plaza Beach Hotel, Bali, Indonesia.