

OPTIMASI KOMBINASI SWITCH PADA PATTERN RECONFIGURABLE ANTENNA MENGGUNAKAN ALGORITMA GENETIKA

Dwi Andi Nurmantris¹, Heroe Wijanto², Bambang Setia Nugroho³

¹Magister Elektro Komunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

Abstrak

Motivasi dalam implementasi pattern reconfigurable antenna adalah untuk mendapatkan antenna tunggal yang memiliki kemampuan modifikasi karakteristik pola radiasi antenna sesuai kebutuhan, sehingga kebutuhan ruang lebih kecil dan sejalan dengan tren perangkat telekomunikasi saat ini yang semakin compact.

Tesis ini fokus pada optimasi antenna patch lingkaran single layer pencatutan probe koaksial dan modifikasinya dengan mengintegrasikan shorting pin pada sisi patch untuk mendapatkan pattern reconfigurability menggunakan algoritma genetika. Pekerjaan utama dalam tesis ini adalah mengoptimasi karakteristik pola radiasi antenna dengan tetap mempertahankan karakteristik frekuensi resonansi antenna.

Optimasi, simulasi, dan fabrikasi telah dilakukan pada 4 buah desain antenna patch lingkaran single layer yaitu Circular Patch NonCentered-Fed Antenna, Circular Patch Centered-Fed with Slit Ring Antenna, Circular Patch Centered-Fed with Symmetrical Control Pins Antenna, dan Circular Patch Centered-Fed with Slot & Pin Antenna, yang bekerja pada frekuensi 2,4 Ghz pada batas Return Loss kurang dari -10 dB. Antena pertama, kedua, dan keempat dirancang untuk menghasilkan 24 kemungkinan arah radiasi azimuth sedangkan antenna ketiga menghasilkan 8 kemungkinan arah radiasi azimuth dengan sudut arah radiasi elevasi 45 derajat untuk semua antenna.

Kata Kunci : Antena Patch Lingkaran, Pattern Reconfigurable, Algoritma Genetika

Abstract

Motivation in the implementation of pattern reconfigurable antenna is to get a single antenna that has the ability to modify the radiation pattern characteristics as needed, so it will reduce space requirement and also in line with the current trend of telecommunication devices which is more compact.

This thesis has been carried out optimization of single-layer circular patch antenna based coaxial probe feeding and modifications by integrating shorting pins on the side of the patch to get the pattern reconfigurability using genetic algorithms. The main work in this thesis is to optimize the radiation pattern characteristics while maintaining the resonant frequency characteristics of the antenna.

Optimization, simulation, and fabrication was performed at 4 design of single-layer circular patch antenna : Circular Patch NonCentered-Fed Antenna, Circular Patch Centered-Fed with Slit Ring Antenna, Circular Patch Centered-Fed with Symmetrical Control Pins Antenna, and Circular Patch Centered-Fed with Slot & Pin Antenna, work at a frequency of 2.4 GHz with Return Loss less than 10 dB. The first, second, and last antennas designed to produce 24 possible directions of azimuth radiation whereas the third antenna produces 8 possible with elevation radiation angle of 45 degree for all antennas.

Keywords : Circular Patch Antennas, Reconfigurable Pattern, Genetic Algorithm.



Telkom
University

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Reconfigurable antenna menjadi populer beberapa tahun terakhir karena kelebihan yang mampu direkonfigurasi karakteristik medan dekatnya seperti frekuensi kerja maupun karakteristik medan jauhnya seperti pola radiasi dan polarisasi dengan tetap mempertahankan ukuran dimensi fisiknya sehingga secara sistem akan lebih cocok digunakan pada perangkat-perangkat yang kecil dan *portable*.

Dalam aplikasinya pada dunia *wireless*, *portable*, dan *mobile*, *reconfigurable antenna* disyaratkan memiliki ukuran yang *compact*. Untuk itu antena planar seperti mikrostrip dan *printed antenna* menjadi kandidat yang paling potensial untuk memenuhi persyaratan tersebut. Selain itu, kelebihan antena berbentuk planar lainnya adalah sangat cocok dan mudah untuk diimplementasikan dengan hampir seluruh mekanisme yang saat ini ada untuk mendapatkan kemampuan *reconfigurable*. Mekanisme *reconfigurable* yang saat ini ada seperti *tunable elements* pada *feeding networks*, *adaptive matching networks*, *tunable elements embedded* seperti PIN diodes dan RF MEMS (*switches*, *varactors*), *optical switching*, dan *mechanically*

Telkom
University

moveable radiating elements switch hampir semuanya bisa diimplementasikan pada antena-antena planar seperti mikrostrip [1]

Pattern reconfigurable antenna merupakan antena yang memiliki kemampuan merubah karakteristik pola radiasinya dengan cara merubah distribusi arus pada elemen antena melalui perubahan struktur antena, sedangkan karakteristik antena yang lain seperti frekuensi resonansi dan polarisasi tetap tidak berubah.

Kemampuan *pattern reconfigurability* pada antena planar biasanya dapat dicapai dengan menggunakan *switch* RF seperti PIN Diode dan RF MEMs dimana kombinasi state “on” dan “off” pada *switch-switch* yang terintegrasi pada elemen antena bisa mengubah distribusi arus pada struktur antena sehingga karakteristik pancaran antena tersebut bisa berubah. Beberapa peneliti sudah memaparkan beberapa design *pattern reconfigurable antenna* menggunakan *switch* RF dengan memanfaatkan elemen parasitik [37][38][39]. Penggunaan elemen parasitik dalam *pattern reconfigurable antenna* memang menunjukkan hasil yang memuaskan terutama pada kemampuan *scanning beam* nya yang bisa mendekati *kontinu*, tetapi memiliki kelemahan pada sisi ukuran antena yang menjadi lebih besar dan sulitnya mempertahankan frekuensi kerja dari antena. Contoh lain desain dari *pattern reconfigurable antenna* dipaparkan oleh Daniel Rodrigo dkk. [26]. Desain antena ini disebut

Reconfigurable Pixelled Antenna. Antena ini tersusun oleh *patch-patch* konduktor kecil dimana tiap-tiap elemen *patch* terhubung dengan *switch* RF. Kelebihan dari antena ini adalah lebih mudah dalam mempertahankan frekuensi resonansi karena strukturnya *monopole* yang memiliki karakteristik *ultra wideband* sehingga lebih stabil ketika ada perubahan struktur, dan adanya mekanisme *matching impedance* dengan menggunakan elemen pixel yang lebih kecil di area pencatuan. Beberapa contoh desain *reconfigurable antenna* yang lain dipaparkan beberapa peneliti [15][16][17][40][8][22][28].

Algoritma genetika (AG) merupakan teknik optimasi global yang terinspirasi dari teori Darwin yaitu teori seleksi dan evolusi. Algoritma ini sudah umum digunakan untuk mencari solusi optimum dari suatu permasalahan dalam berbagai disiplin ilmu termasuk dalam bidang elektromagnetika dan antena [42]. Algoritma ini merupakan bagian dari *evolutional algorithm*. Contoh lain dari *evolutional algorithm* adalah *Particle Swarm Optimization* (PSO) dan *Ant Colony Optimization*. AG menawarkan banyak kelebihan dibandingkan optimasi menggunakan teknik numerik tradisional, termasuk kemampuan untuk menggunakan parameter yang sifatnya diskret maupun kontinyu, melakukan pencarian pada range solusi yang luas, dapat menangani banyak *variable*, dan sederhana dalam implementasi. Karena alasan-alasan tersebut, AG menjadi

populer dan menjadi teknik optimasi yang powerful. Meskipun kita tidak bisa katakan bahwa AG adalah algoritma yang terbaik tetapi untuk beberapa kasus AG cukup berhasil sedangkan Algoritma-algoritma yang lain tidak berhasil.

AG sudah berhasil digunakan tidak hanya untuk optimasi antenna saja tetapi bahkan dapat menemukan varian-varian baru struktur antenna. Awalnya, dalam bidang optimasi antenna, AG sering digunakan untuk optimasi antenna susun [12]. Kemudian pada [10] AG digunakan untuk mendesain dan mengoptimasi *wire antenna*. AG juga berhasil digunakan untuk mengoptimasi struktur antenna untuk mendapatkan *bandwidth* yang lebih lebar [18] dan *multiband* [19][32]. Pada [31] AG berhasil digunakan untuk tujuan mengecilkan radiator pada *patch antenna*. Dalam *reconfigurable antenna*, AG juga digunakan pada [26].

Dalam tesis ini, telah dilakukan penelitian tentang *pattern reconfigurable antenna* dengan fokus penelitian pada optimasi pengarah pola radiasi terhadap antenna planar dengan memanfaatkan metode *shorting pin*. Algoritma optimasi akan menggunakan AG dengan bantuan *Finite Element Method* (FEM). AG diimplementasikan pada matlab dan FEM dilakukan dengan software Ansoft HFSS, dimana integrasi keduanya memungkinkan dengan bantuan *scripting HFSS* dengan bahasa *Visual Basic (VBScript)*.

Tesis ini juga merupakan pengembangan dari Tugas Akhir dari penulis yang berjudul “*Simulasi Antena Mikrostrip Beamforming Berdasarkan Kombinasi Switch Gangguan Menggunakan High Frequency Structure Simulator (HFSS)*” [30], dimana dalam penelitian tersebut, penulis belum menerapkan suatu algoritma optimasi untuk mendapatkan desain *Pattern Reconfigurable Antenna* yang optimum.

1.2 Tujuan dan Manfaat

Penelitian ini memiliki beberapa tujuan sebagai berikut:

1. Mendapatkan struktur antenna planar yang memiliki kemampuan *pattern reconfigurability* dengan menggunakan metode *shorting pin* yang berbasis RF *switch* dan bantuan algoritma optimasi AG/FEM.
2. Menganalisa apakah algoritma genetika mampu menghasilkan solusi optimum kombinasi *switch* untuk mendapatkan *pattern reconfigurability*.

1.3 Rumusan Masalah

Adapun Permasalahan-permasalahan yang telah dikaji dan dicari solusinya dalam penelitian ini adalah:

1. Mencari struktur dasar antena planar yang sesederhana mungkin yang memiliki potensi di modifikasi sehingga memiliki kemampuan *pattern reconfigurability*.
2. Mencari posisi-posisi *switch* RF yang akan diintegrasikan pada struktur antena yang memungkinkan perubahan distribusi arus pada elemen antena secara signifikan untuk merubah polaradiasi antena.
3. Mencari teknik untuk mempertahankan frekuensi resonansi antena, meskipun polaradiasi antena diubah-ubah.
4. Menerapkan AG/FEM sebagai *tool* optimasi untuk mendapatkan kombinasi *switch* RF pada antena yang menghasilkan *pattern reconfigurability*.
5. Menvalidasi hasil optimasi dengan merealisasikan beberapa *state* pada *pattern reconfigurable antenna* yang telah didapat.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan –batasan masalah dalam tesis ini adalah:

1. Tidak merealisasikan RF *Switch*.
2. Tidak menerapkan algoritma dalam implementasi
3. Minimal perubahan arah polaradiasi yang ingin di capai adalah 3 arah (3 *state*) baik elevasi maupun azimut
4. Parameter antena yang menjadi fokus penelitian adalah polaradiasi dan frekuensi resonansi antena.

5. Sistem yang dibangun menggunakan software Matlab 7.6 (R2008a) dan Ansoft HFSS versi 13.

1.5 Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan metodologi sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Studi literatur merupakan dasar dan langkah awal dalam pengerjaan tesis ini. Pemahaman yang luas dan mendalam sangat dibutuhkan dalam penelitian ini sebagai dasar untuk melakukan proses penelitian, mencapai target penelitian, serta memberi bukti keberhasilan penelitian. Sumber informasi utama dalam pengerjaan tesis ini adalah buku, jurnal, *conference proceeding*, *corporate information library*, dan internet. Materi utama yang sangat penting untuk dikaji secara literature meliputi karakteristik antena planar, *pattern reconfigurable antenna*, *shorting pin*, algoritma genetika dan *finite element method*. Untuk mendapatkan pemahaman yang lebih baik dalam study literature, proses-proses simulasi awal juga dilakukan.

2. Simulasi dan Running Program

Bertujuan untuk menerapkan AG/FEM untuk optimasi pada *pattern reconfigurable antenna*. Desain dan struktur antena yang sudah ditetapkan melalui proses *study literature* kemudian dipilih sebagai *initial desain* yang akan

dioptimasi dengan menambahkan/mengintegrasikan *switch-switch* RF/*shorting pin*, kemudian dilakukan simulasi optimasi untuk mendapatkan kombinasi-kombinasi *switch (state)* yang tepat untuk *pattern reconfigurable antenna*. Platform yang digunakan untuk simulasi AG adalah MATLAB. Sedangkan HFSS ANSOFT merupakan software yang digunakan untuk analisis struktur EM dengan metode FEM.

3. Analisa Data Optimasi

Setelah dilakukan simulasi, beberapa hasil optimum diperoleh. Sebelum dilakukan verifikasi, analisa data optimasi dilakukan.

4. Verifikasi Data Optimasi

Dengan cara merealisasikan beberapa state hasil optimasi menggunakan AG/FEM kemudian melakukan pengukuran. Kemudian hasil pengukuran tersebut dibandingkan dengan hasil optimasi.

5. Penyusunan laporan

Pada tahap ini dilakukan penyusunan laporan hasil penelitian yang telah dilakukan dan membuat kesimpulan dari hasil penelitian tersebut.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang bisa diambil berdasarkan penelitian yang sudah penulis lakukan adalah :

1. Sistem *Optimizer FEM/AG* telah berhasil dibangun dengan mengintegrasikan Matlab dengan Ansoft HFSS dengan bantuan *scripting HFSS* menggunakan *VBScript*.
2. Sistem *Optimizer FEM/AG* telah berhasil diterapkan dan mengoptimasi empat alternative desain yaitu *Circular Patch NonCentered-Fed antenna*, *Circular Patch Centered-Fed With Slit Ring antenna*, *Circular Patch Centered-Fed With Symmetrical Control Pin antenna*, dan *Circular Patch Centered-Fed With Slot and Pin antenna*
3. Struktur antena dengan *Centered probe fed* dimana antena didesain dengan tetap mempertahankan posisi pencatuan di tengah / di pusat *patch* lebih mudah dalam upaya *matching*

impedance sehingga kemampuan *reconfigurability* nya lebih tinggi dibanding antenna dengan *NonCentered probe fed*.

4. Hasil Simulasi dan Optimasi menunjukkan bahwa 4 desain antenna telah memenuhi spesifikasi awal perancangan dimana *Circular Patch NonCentered-Fed antenna* dan *Circular Patch Centered-Fed With Slit Ring antenna* menghasilkan 24 perubahan pola radiasi arah azimuth dengan resolusi 15° dengan arah elevasi tetap, sedangkan *Circular Patch Centered-Fed With Symmetrical Control Pin antenna* menghasilkan 8 perubahan pola radiasi arah azimuth dengan resolusi 45° dengan arah elevasi tetap. Desain terakhir *Circular Patch Centered-Fed With Slot and Pin antenna* menghasilkan perubahan pola radiasi arah azimuth lebih sedikit dibandingkan dengan desain yang lainnya.
5. Hasil validasi menunjukkan bahwa hasil fabrikasi dan pengukuran bergeser dari nilai simulasi disebabkan oleh keterbatasan alat ukur, keterbatasan pengamatan, dan keterbatasan perangkat pendukung dalam pengukuran.

5.2 Saran

Saran untuk pengembangan selanjutnya adalah:

1. Mendesain dan merealisasikan *RF switch* dan *biasing network* pada *pattern reconfigurable antenna*.
2. Membuat lingkungan pengukuran lebih terkendali seperti membuat *chamber* sederhana agar hasil pengukuran, terutama medan jauh lebih valid.
3. Mencoba dengan teknik pencatuan mikrostrip yang lain terutama yang menggunakan metoda "*coupling*" karena metode pencatuan tersebut memberikan kondisi radiator/*patch* lebih terisolasi sehingga kita bisa mengoptimasi karakteristik pola radiasi dan karakteristik *frekuensi resonansi* secara *independent*.
4. Mencoba membangun algoritma yang lebih fokus pada upaya menurunkan jumlah *shorting pin*, karena dalam penelitian ini juga diperoleh fakta bahwa semakin banyak jumlah *shorting pin*, *efficiency* antena juga semakin turun.

CHAPTER V

CONCLUSION AND RECOMMENDATION

5.1 Conclusion

1. FEM / AG Optimizer has successfully constructed by integrating Matlab and Ansoft HFSS with the help of HFSS scripting using VBScript.
2. FEM / AG optimizer has been successfully Implemented on 4 alternative circular patch-based with probe feed technique that is : *Circular Patch NonCentered-Fed, Circular Patch Centered-Fed With Slit Ring, Circular Patch Centered-Fed With Simetric Control Pin, Circular Patch Centered-Fed With Slot and Pin* to find optimum design.
3. Antenna structure with probe fed which is designed to retain feeding point in the middle position / in the center of the patch offer simplicity in matching impedance technique of reconfigurable antennas.
4. Simulation and Optimization Results showed that 4 antenna design has met the initial design specification which Circular Patch NonCentered-Fed Antenna produced 24 possible directions of the azimuth radiation pattern with a resolution of 15° while the direction of elevation fixed at 45° The Second antenna, Circular Patch Centered-Fed With Slit Ring

Telkom
University

antenna produced 24 possible directions of the azimuth radiation pattern with a resolution of 15° while the direction of elevation fixed at 45° , whereas Circular Patch Centered-Fed with Symmetrical Control Pin antenna produced 8 possible directions of azimuth radiation pattern with a resolution of 45° while the direction of elevation fixed at 25° . The last design, Circular Patch Centered-Fed With Slot and Pin antenna produced less changes in the direction of the azimuth radiation pattern than the other designs with the direction of elevation fixed at 27°

5. Validation results show that the fabrication and measurement result shift from simulation result because of the limitations of measurement instruments, observations, supporting devices of measurement tools, and precision of fabrication.

5.2 Recommendation for Future Work

1. Design and realization of RF switches and biasing network on pattern reconfigurable antenna.
2. Design environment of measurements more controlled like a simple chamber in order to make the measurement results is more valid.
3. Try with another microstrip feeding techniques, especially the use of "coupling" method, because this method gives the condition of radiator / patches more isolated from feeding

environment so that we can optimize the characteristics of the radiation pattern and resonant frequency characteristics independently.

4. Try to build algorithm scheme that focusing on reducing the number of shorting pins on the reconfigurable antenna.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anders G. Derneryd, “*Analysis of the Microstrip Disk Antenna Element*”, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. ap-27, no. 5, September 1979
- [2] Asem Al-Zoubi, Fan Yang, dan Ahmed Kishk, “*A Broadband Center-Fed Circular Patch-Ring Antenna With a Monopole Like Radiation Pattern*” IEEE Transactions On Antennas And Propagation, Vol. 57, No. 3, March 2009
- [3] A. Kerkhoff, R. Rogers, and H. Ling, “*The use of the genetic algorithm approach in the design of ultra-wideband antennas,*” Proc. IEEE Radio and Wireless Conference, Aug. 2001, pp 93-96.
- [4] A. Mehta, D. Mirshekar-Syahkal, and H. Nakano, “*Beam adaptive single arm rectangular spiral antenna with switches,*” IEE Proceedings-Microwaves, Antennas and Propagat., vol. 153, no. 1, pp. 13–18, February 2006.
- [5] Balanis, Constantine A., *Antenna Theory: Analysis and Design*, New York : Harper & Row Publisher Inc, 1982.
- [6] Chen, Zhi Ning and Michael Y.W.Chia.2006. *Broadband Planar Antennas Design and Application*.Chichester.John Wiley & Sons Ltd

- [7] C. B. Ravipati, D. R. Jackson, and H. Xu, “*Center-Fed Microstrip Antennas with Shorting Vias for Miniaturization*” IEEE 2005.
- [8] C. Jung, M.Lee, G.P.Li, and F.DeFlaviis, “*Reconfigurable scan-beamsingle-arm spiral antenna integrated with RF MEMS switches,*” IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. 54, pp. 455–463, February 2006.
- [9] David B. Davidson, “*Computational Electromagnetics for RF and Microwave Engineering*”, Second Edition, Cambridge University Press, 2010.
- [10] D.S. Linden. “*Automated Design and Optimization of Wire Antennas using Genetic Algorithms.*” Ph.D. Thesis, MIT, September 1997.
- [11] Eko Hendrawan, Bambang. “*implementation of parallel genetic algorithm to solve heterogeneous fleet vehicle routing problem*”, Tugas Akhir, ITS, Januari 2008.
- [12] F. J. Ares-Pena, J. A. Rodriguez-Gonzalez, E. Villaneuva-Lopez, and S. R. Rengarajan, “*Genetic algorithms in the design and optimization of antenna array patterns,*” IEEE Trans. Antennas Propagat., vol.47, p.506, Mar. 1999.

- [13] Gross, Frank B, 2011, "*Frontiers in Antennas: Next Generation Design & Engineering*" New York. McGraw-Hill.
- [14] Guha, Debatosh and Yahia M.M. Antar. 2011. "*microstrip and printed antennas new trends, techniques and applications*". Chichester. John Willey and Sons Ltd.
- [15] G. H. Huff, J. Feng, S. Zhang, and J. T. Bernhard, "A novel radiation pattern and frequency reconfigurable single Turn square spiral microstrip antenna," *IEEE Microwave Wireless Comp. Lett.*, vol. 13, pp. 57–59, February 2003.
- [16] G. H. Huff and J. T. Bernhard, "Analysis of a radiation and frequency reconfigurable microstrip antenna," *Proc. 2004 Antenna Applications Symposium*, pp. 175–191, Sept. 2004.
- [17] G. H. Huff and J. T. Bernhard, "Integration of packaged RF MEMS switches with radiation pattern reconfigurable square spiral microstrip antennas," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 54, pp. 464–469, February 2006.
- [18] H. Choo, A. Hutani, L.C. Trintinalia, and H. Ling, "Shape optimization of broadband microstrip antennas

- using genetic algorithm*,"Electronic Letters, vol. 36, no. 25, pp. 2057-2058, Dec. 2000.
- [19]H. Choo and H. Ling, "*Design of Multiband Microstrip Antennas Using a Genetic Algorithm*", IEEE Microwave and Wireless Components Letters, vol. 12, no. 9, Sept.2002, pp. 345-347.
- [20]Jin, Jianming and Reley, Douglas J. "*Finite Element Analysis of Antennas and Arrays*", Canada: IEEE Wiley, 2008.
- [21]Josef Meixner, "The Radiation Pattern and Induced Current in a *Circular* Antenna with an Annular Slit" Electromagnetic Wave Theory Symposium
- [22]J. T. Bernhard, Reconfigurable Antennas, ed. Constantine Balanis, Morgan & Claypool, San Rafael, CA, 2007.
- [23]Kin-Lu Wong, "*Compact and Broadband Microstrip Antennas*," A Wiley- Inter Science Publication John Wiley & Sons, Inc.2002.
- [24]Kraus, Jhon D and Marhefka, Ronald J, 2003, Antennas for All Application, New York.
- [25]Kumar, Girish dan Ray, K.P., Broadband Microstrip Antennas, London: Artech House Boston, 2003.

- [26] Lopez, Daniel Rodrigo, "*Time Reconfigurable Pixelled Antennas*", Master Thesis, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, July 2010.
- [27] L. C. Shen, S. A. Long, M. R. Allarding, And M. D. Walton, "*Resonant Frequency of a Circular Disc, Printed Circuit Antenna*", IEEE Transactions On Antennas And Propagation, July 1977.
- [28] M. Ali, A. T. M. Sayem, and V. K. Kunda, "A *reconfigurable stacked microstrip patch antenna for satellite and terrestrial links*," IEEE Trans. Vehicular Tech., vol. 56, no. 2, pp 426–435, March 2007.
- [29] Ngan, Kwok-kee, "*Design Optimisation of a Microstrip Antenna using Genetic Algorithms*", Master Thesis, Warwick, September 2001.
- [30] Nurmantris, Dwi Andi, "*Simulasi Antena Mikrostrip Beamforming Berdasarkan Kombinasi Switch Gangguan Menggunakan High Frequency Structure Simulator (HFSS)*", Tugas Akhir, ITTelkom, Maret 2010.
- [31] N. Herscovici, M. F. Osorio, and C. Peixeiro, "Minimization of a rectangular *patch* using genetic algorithms," in Proc. IEEE Antennas and Propagation Int. Symp., vol. 4, Boston, MA, July 2001, pp. 34–37.

- [32] O. Ozgun, S. Mutlu, M. I. Askun, and L. Alatan, "Design of dual frequency probe-fed microstrip antennas with genetic optimization algorithm," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 51, no. 8, pp. 1947–1954, Aug. 2003.
- [33] Rajanish and T. S. Vedavathy, "Resonant Frequency Of Higher Order Modes For Circular Microstrip Antennas" IEEE 1999.
- [34] Ramesh Garg, Prakash Bhatia, Inder Bahl and Apisak Ittipiboon, "Microstrip Antenna Design Handbook," Artech House, Inc. 2001.
- [35] Rebekka Porath, "Theory of Miniaturized Shorting-Post Microstrip Antennas", IEEE Transactions on Antennas and Propagation vol.48, No.1, January 2000.
- [36] R. U. Nabar, H. Bolcskei, V. Erceg, D. Gesbert and A. J. Paulraj, "Performance of multi-antenna signaling techniques in the presence of polarization diversity", IEEE Trans Sig. Proc., vol.50, no.10, Oct. 2002.
- [37] S.Zhang,G.H.Huff,J.Feng,andJ.T.Bernhard,"A pattern reconfigurable microstrip parasitic array," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. 52, pp. 2773–2776, October 2004.
- [38] S.Zhang,G.Huff,G.Cung,andJ.T.Bernhard,"Three variations of a pattern reconfigurable microstrip

- parasitic array*,” *Microwave Opt. Technol. Lett.*, vol. 45, pp. 369–372, June 2005
- [39] S. Zhang, “*A pattern reconfigurable microstrip parasitic array: theory, design, and applications*,” Ph.D. dissertation, University of Illinois at Urbana-Champaign, 2005.
- [40] S.-H. Chen, J.-S. Row, and K.-L. Wong, “*Reconfigurable square-ring patch antenna with pattern diversity*,” *IEEE Trans. Antennas Prop.*, vol. 55, pp. 472–475, February 2007.
- [41] Weixia Wu, Bing-zhong Wang, Xue-Song Yang, Yong Zhang, “*A pattern-Reconfigurable Planar Fractal Antenna and its Characteristic-Mode Analysis*,” *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 49, 3, June 2007, pp. 68-75
- [42] Y. Rahmat-Samii and E. Michielssen, “*Electromagnetic Optimization by Genetic Algorithms*”, eds. Wiley, 1999.
- [43] Zhi Ning Chen and Michael Yan Wah Chia, “*Center-Fed Microstrip Patch Antenna*” *IEEE Transactions On Antennas And Propagation*, Vol. 51, No. 3, March 2003.