



ISSN 1411 - 5972

JURNAL TEKNOLOGI

FAKULTAS TEKNIK - UNIVERSITAS PAKUAN
Volume I, Edisi 19, Periode Juli-Desember 2011

-
- ✍ Analisis Rugi-Rugi Tembaga Dan Rugi-Rugi Inti Besi Pada Trafo Daya Yang Disebabkan Adanya Gelombang Harmonisa (Dede Suhendi dan Solihul Arifin)
 - ✍ Analisa Implementasi Keamanan Akses WIFI Captive Portal Dengan Menambahkan Fitur *Fassword Login Request* Melalui SMS (Agustini Rodiah Machdi)
 - ✍ Simulasi Sistem Antena MIMO (Multiple Input Multiple Output) Dalam Sistem Komunikasi Wireless Dengan Menggunakan Simulink Matlab (Yamato)
 - ✍ Usulan Pola Pembagian Wewenang Dan Kewajiban (Role Sharing) Antar Instansi Kabupaten/Kota Dalam Pemanfaatan Ruang Dan Pengendalian Pemanfaatan Ruang (Kasus: Pengendalian Banjir di Jabodetabek) (G.N. Purnama Jaya dan Ichwan Arif)
 - ✍ Kajian Bencana Gerakan Tanah Di Wilayah Bogor Dan Sekitarnya (Teti Syahrulyati)
 - ✍ Penentuan Satuan Hidrostratigrafi (HSU) Di Daerah Volkanik (Studi Kasus : Daerah Cekungan Bandung) (Bambang Sunarwan)



ISSN 1411 - 5972

JURNAL Teknologi

(MAJALAH ILMIAH FAKULTAS TEKNIK - UNPAK)

Volume I, Edisi 19, Periode Juli-Desember 2011

	Hal.
» Kata Pengantar	i
» Daftar Isi	ii
» Analisis Rugi-Rugi Tembaga dan Rugi-Rugi Inti Besi Pada Trafo Daya yang Disebabkan Adanya Gelombang Harmonisa (Dede Suhendi dan Solihul Arifin)	1
» Analisa Implementasi Keamanan Akses WIFI Captive Portal Dengan Menambahkan Fitur <i>Password Login Request</i> Melalui SMS (Agustini Rodiah Machdi)	10
» Simulasi Sistem Antena MIMO (Multiple Input Multiple Output) Dalam Sistem Komunikasi Wireless Dengan Menggunakan Simulink Matlab (Yamato)	19
» Usulan Pola Pembagian Wewenang dan Kewajiban (Role Sharing) Antar Instansi Kabupaten/Kota Dalam Pemanfaatan Ruang dan Pengendalian Pemanfaatan Ruang (Kasus : Pengendalian Banjir di Jabodetabek) (G.N. Purnama Jaya dan Ichwan Arif)	28
» Kajian Bencana Gerakan Tanah Di Wilayah Bogor dan Sekitarnya (Teti Syahrubyati)	37
» Penentuan Satuan Hidrostratigrafi (HSU) Di Daerah Vulkanik (Studi Kasus : Daerah Cekungan Bandung) (Bambang Sunarwan)	44

Kata Pengantar

Assalammualaikum Wr. Wb.

JURNAL TEKNOLOGI Edisi ke 19 Periode (Juli – Desember 2011), diterbitkan oleh Fakultas Teknik, Universitas Pakuan Bogor, berisi 6 (enam) makalah, hasil penulisan para staf pengajar/dosen, khususnya di lingkungan Fakultas Teknik Universitas Pakuan Bogor.

Beberapa penyempurnaan masih terus diperlukan, termasuk saran dan kritik agar penerbitan selanjutnya makin memiliki nilai tambah dan bobot ilmiah, khususnya pada isi/materi tulisan yang ada.

Diharapkan **JURNAL TEKNOLOGI**, Fakultas Teknik, Universitas Pakuan dapat terbit secara rutin dan bermanfaat bagi pembaca.

Wassalam

Redaksi

DAFTAR ISI

	HaL.
◀ Kata Pengantar	i
◀ Daftar Isi	ii
◀ Analisis Rugi-Rugi Tembaga dan Rugi-Rugi Inti Besi Pada Trafo Daya yang Disebabkan Adanya Gelombang Harmonisa	1
◀ Analisa Implementasi Keamanan Akses WIFI Captive Portal Dengan Menambahkan Fitur <i>Password Login Request</i> Melalui SMS	10
◀ Simulasi Sistem Antena MIMO (Multiple Input Multiple Output) Dalam Sistem Komunikasi Wireless Dengan Menggunakan Simulink Matlab	19
◀ Usulan Pola Pembagian Wewenang dan Kewajiban (Role Shating) Antar Instansi Kabupaten/Kota Dalam Pemanfaatan Ruang dan Pengendalian Pemanfaatan Ruang (Kasus : Pengendalian Banjir di Jabodetabek)	28
◀ Kajian Bencana Gerakan Tanah Di Wilayah Bogor dan Sekitarnya	37
◀ Penentuan Satuan Hidrostratigrafi (HSU) Di Daerah Vulkanik (Studi Kasus : Daerah Cekungan Bandung)	44

Alamat Redaksi/Penerbit

Jurnal Teknologi

Fakultas Teknik - Universitas Pakuan

Jl. Pakuan ☎ (0251) 8311007

E-mail : fakultasteknik@gmail.com

Bogor

SIMULASI SISTEM ANTENA MIMO (MULTIPLE INPUT MULTIPLE OUTPUT) DALAM SISTEM KOMUNIKASI WIRELESS DENGAN MENGGUNAKAN SIMULINK MATLAB

Oleh

Yamato

Abstrak

Multi Input Multi Output (MIMO) adalah suatu teknologi yang muncul menggunakan prinsip *diversity* dengan tujuan meningkatkan *data rate* dalam range yang lebih besar tanpa membutuhkan *Bandwidth* atau daya transmisi yang besar. Sistem MIMO terdiri dari beberapa Antena pemancar dan penerima yang menciptakan *Diversity antara Transmitter dan Receiver*.

Keberhasilan dari teknologi MIMO ini mendorong dikembangkannya konsep komunikasi kooperatif dimana banyak user dengan antenna tunggal dapat memanfaatkan user lain dalam menyampaikan informasi untuk menciptakan *spatial diversity* sinyal pemancar dari lokasi yang berbeda. Konsep dasar ini merupakan akar dari system komunikasi kooperatif. Dimulai dari konsep dasar teknologi *Multi Input Multi Output (MIMO)*, saat ini komunikasi *kooperatif* dipelajari secara intensif agar sistem memiliki kinerja yang sama bagusnya hanya dengan menggunakan system antenna tunggal.

Sistem kooperatif MIMO merupakan system komunikasi dimana terdapat banyak user dengan *multiple antenna* yang bekerja sama untuk mengirim informasi. Dalam system ini, Transmisi sinyal dilakukan dengan memanfaatkan user lain sebagai *relay* untuk meneruskan informasi ke tujuan. Pada kenyataannya user tidak selalu berada pada satu tempat, oleh karena itu lebih tepat digunakan model *kanal mobile-to-mobile* untuk menganalisa kinerja kooperatif MIMO.

Hasil-hasil teoritis yang ada berdasarkan kepada model antenna dan rangkaian *transceivernya*. Saat ini dikembangkan *simulator sistem dari Antena MIMO* sehingga hasilnya dapat lebih realistis. Untuk komponen linier, parameter S digunakan sebagai *interface*, yang mana berasal dari model-model *teoritik*, simulasi medan elektromagnetik atau dengan pengukuran langsung. Untuk komponen *non-linier*, model *memoryless* yang sederhana dapat digunakan sebagai *Toolbox RF*. Aplikasi *wideband* memerlukan model yang rumit.

Telah dikembangkan saat ini model *memory polynomial* dengan menggunakan pengukuran yang sesuai dengan penguat daya wideband non-linier. RF toolbox belum mampu menangani *Multi-port scattering*, sehingga MIMO dikomputasi ke dalam fungsi Matlab dan di-implementasikan sebagai fungsi transfer dari MIMO. Topik ini menggambarkan implementasi dari *transceiver*, *filter*, *matching network* dan model kanal antenna MIMO.

Kata Kunci: *Teknologi MIMO, Matching Network, Simulator MIMO.*

1. PENDAHULUAN

Hampir sebagian besar masalah-masalah system komunikasi disimulasikan dalam model fisik secara global. Secara kontrasnya, perancangan antena didasarkan kepada simulasi elektromagnetik secara rinci.

Tujuan dari pembahasan adalah menelaah beberapa tahapan dalam menjembatani perbedaan (gap) antara simulasi *level system* dan hardware (perangkat keras), dengan menggunakan *matlab* dan *simulink*, dengan tujuan dapat melihat secara langsung efek-dari perancangan komponen atau arsitektur terutama dalam hal unjuk kerjanya.

Fokus pembahasan adalah antena MIMO pada system komunikasi wireless dan unjuk kerja yang dinyatakan dalam *Bit-Error-Rate (BER)* dan *Quality of Service (QoS)*.

1.1 Komunikasi Wireless dengan teknologi MIMO

Selama 20 tahun terakhir, terjadi perkembangan pesat di bidang industri komunikasi tanpa kabel (*Wireless*). Pada awal perkembangannya di fokuskan pada komunikasi suara dan peng-alokasi-an banyak *user* ke suatu Bandwidth tertentu.

Saat ini terdapat peningkatan kebutuhan *Bandwidth* diantaranya untuk aplikasi *Video Streaming* dan TV. Dengan meningkatnya kapasitas maka diperlukan pula peningkatan *Bandwidth*. Jika *Transmitter* dan *Receiver* menggunakan antena sebanyak N maka kapasitas (*bit Rate*) dapat ditingkatkan sampai batas ke N tergantung kepada jumlah kanal *Wireless* yang ada.

Pada prinsipnya, 1 antena dapat membentuk N kanal parallel yang dapat mentransmit secara *independen* satu sama lainnya. Secara umum, hal ini tidak mungkin untuk kanal-kanal *Line-of-Sight (LOS)*, dengan demikian kanal-kanal Multiple tidak dapat independen dan akan saling *interferensi*.

Meskipun demikian, dalam kondisi *Scattering*, kapasitas dapat meningkat sampai dengan ke N [3]. Transmisi data secara parallel menggunakan *spatial Multiplexing*. *Scattering* atau *propagasi multipath* (multi-lintasan) merupakan kendala / hambatan utama dalam komunikasi wireless sehingga menyebabkan lintasan propagasi yang berbeda, mengakibatkan adanya interferensi yang saling menguatkan atau melemahkan tergantung pada posisi pemakai yang bergerak (*mobile user*). Hal ini dapat menyebabkan kenaikan variasi level sinyal, yang disebut *fading*. *Spatial Multiplexing* dapat mengembalikan ke variasi level sinyal yang konstan.

Alternatif lain adalah dengan *Diversity*, idenya adalah apabila antena dipisahkan dengan jarak yang cukup sehingga antena-antena tersebut mempunyai *fading* yang tidak saling ketergantungan. Dengan memilih antena ke suatu kanal yang terbaik, atau dengan mengkombinasikan antena-antena dengan benar maka probabilitas penerimaan yang kurang baik akan dikurangi.

Diversity meningkatkan level sinyal rata-rata yang pada akhirnya dapat memperbaiki kapasitas. Meskipun kenaikan kapasitas secara signifikan berkurang dengan menggunakan *diversity* daripada jika menggunakan *Spatial Multiplexing*, tetapi dapat dipakai untuk rasio S/N yang rendah.

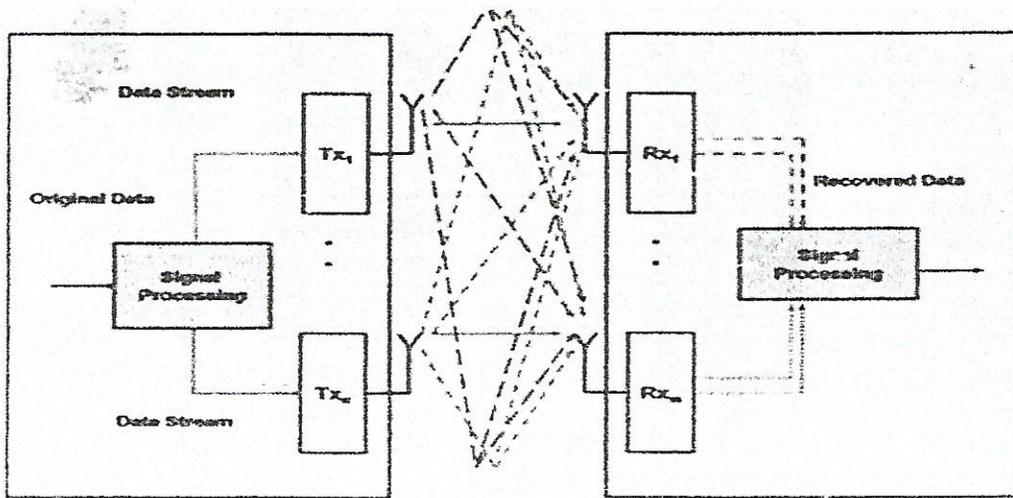
Suatu penggunaan yang menguntungkan dengan menggunakan *Spatial Diversity* di *Transmitter* tanpa memerlukan pengetahuan mengenai kanal di *Transmitter* disebut *Space-time Coding*. [4].

1.2 Arsitektur Sistem MIMO

Pada bagian ini akan dijelaskan Arsitektur Sistem Komunikasi Wireless MIMO, terutama difokuskan pada model-model Transmisi, Kanal dan Penerima. Gambar 1 memberikan gambaran dari suatu system N antenna Transmit dan M antenna Receive. Blok pemrosesan sinyal pada *Transmitter* merepresentasikan konversi dari sinyal input (mis. Video atau Suara) ke sederetan aliran bit-bit yang melakukan proses source dan

channel coding. Tx-1 sampai Tx-N menggambarkan proses Transmisi yaitu proses Modulasi, Penguatan dan pem-filter-an terhadap N kanal Transmisi. Arah panah antara Antena Pengirim dan Penerima menunjukkan kanal Wireless. Kanal tersebut dimodeikan dengan banyak lintasan Transmisi (*Multiple Transmission Path*) dimana setiap lintasan sinyal mengalami *Time-delay*, *Direction-of-Departure* (*DoD*) dan *Direction-of-Arrival* (*DoA*) [6]. Pada bagian Penerima (Rx-1 sampai Rx-M) terjadi proses sebaliknya yaitu *Filtering*, Penguatan dan demodulasi dimana proses terakhir adalah melakukan ekstrak pada bagian Phase (I) dan *Quadrature Phase* (Q)

dari sinyal tersebut [5]. Jadi menghasilkan Sinyal yang diterima dalam bentuk Komplek ($I + jQ$), kemudian diproses oleh blok pemrosesan sinyal. Detail dari pemrosesan sinyal tergantung dari protocol komunikasi. Pemrosesan sinyal tersebut diantaranya meliputi sinkronisasi, Estimasi kanal, deteksi (estimasi bit), *Channel decoding* dan *Source decoding*. Operasi-operasi tersebut tidak dibahas pada bagian ini dan difokuskan pada simulasi dari bagian Radio Frequency (RF) dari Sistem Antena.



Gambar 1. : Sistim Komunikasi *WIRELESS MIMO*

2. IMPLEMENTASI DARI KANAL KOMUNIKASI MIMO

Interaksi dari Antena MIMO *transmitter* dan *Receiver* digambarkan oleh fungsi transfer yang menganalisa sifat-sifat radiasi dari antena dan sifat-sifat *propagasi* dari lingkungan sekitarnya. Gambar 2 adalah tahapan-tahapan dasar yang diperlukan untuk menggunakan model kanal komunikasi MIMO.

Lingkungan sekitar diasumsikan terdiri dari sejumlah *Scatterer* (penghambur sinyal)

yang tertentu dan setiap *scatterer* adalah suatu delay dan scaling (FIR filter) untuk suatu lintasan dari *Transmitter* ke *Receiver*. Setiap model yang digunakan dapat diturunkan dari pengukuran, simulasi elektromagnetik atau beberapa model Statistik. Disini digunakan versi yang sedikit dimodifikasi dari model 3GPP yang mempunyai gambaran awal distribusi statistic dari sifat-sifat *scatterer* tersebut.

Nilai random dari kekuatan *Scattering*, *Time Delay*, *DoD* dan *DoA* pada Antena dihasilkan oleh distribusi Statistik. Dengan mengambil

sudut dan polarisasi yang tergantung dari gain antenna ke dalam suatu perhitungan, maka koefisien fungsi transfer untuk setiap pasang elemen antenna Transmitter j , dan setiap elemen antenna receiver i dapat dihitung dan disimpan Array 3 dimensi $H_{i,j,k}$. Diasumsikan Transmisi melalui setiap Scatterer adalah k . Komputasi dilakukan dengan menggunakan Matlab Script yang dijalankan sebelum memulai simulasi. $H_{i,j,k}$ dapat sebagai FIR filter.

Apabila Antena bergerak atau jika *scatterer* bergerak maka pergeseran Doppler w_k dimasukkan ke dalam model. Diasumsikan bahwa pergeseran Doppler ke suatu *scatterer* adalah sama untuk semua elemen antenna dalam suatu array dan waktu simulasi cukup pendek sehingga delay dalam sejumlah periode sample adalah konstan. Dengan

demikian cukup untuk meng-asumsi-kan hanya terjadi pergeseran fasa.

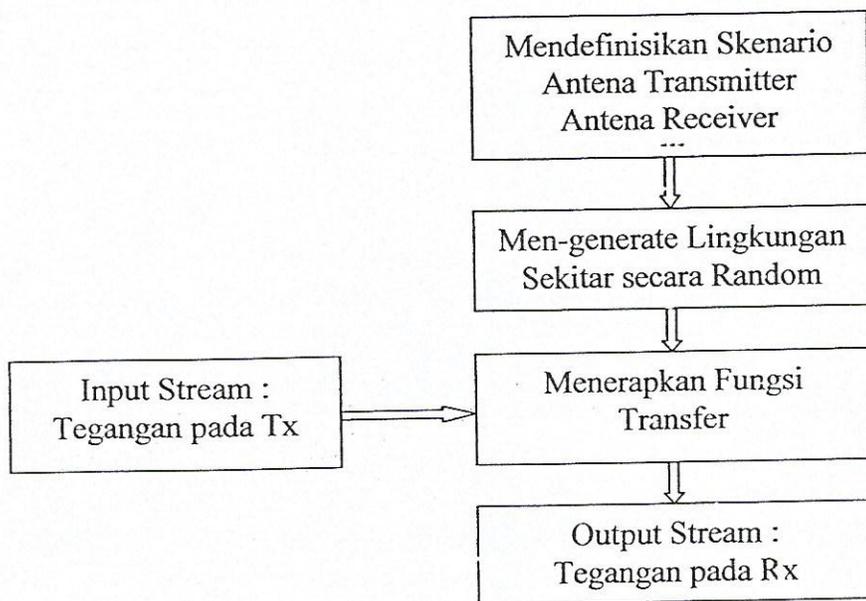
Diketahui $H_{i,j,k}$ dan sinyal yang ditransmisikan $\{Tx_j(t)\}_{j=1}^n$, maka sinyal yang diterima pada antenna i adalah sebagai berikut :

$$Rx_i(t) = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^K H_{i,j,k} Tx_j(t - \tau_{i,j,k}) e^{jw_k t} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana :

$\tau_{i,j,k}$: Time Delay dari Scatterer ke- k .
 t dan $\tau_{i,j,k}$: Kenaikan dari Waktu Sample

Transfer Function (Fungsi Transfer) dari persamaan (1) di implementasikan dalam *simulink matlab*.



Gambar 2. Tahapan membuat Simulasi Kanal komunikasi WIRELESS MIMO

3. ANTENNA DAN MATCHING NETWORK

Pada bagian ini akan dibahas representasi model fisik dalam hubungannya dengan parameter-parameter Scattering. Fasa sinyal

tidak sama pada saluran Transmisi dan pada frekuensi rendah efek ini dapat diabaikan. Efek ini dimodelkan dalam domain frekuensi yang menggunakan gelombang berjalan. Saluran Transmisi yang digunakan untuk koneksi 2 komponen, mempunyai gelombang

V^* da
 backw
 merup
 terseb
 digun
 setiap
 terhad
 Komp
 kan d
 Depen

 S_{11} : K
 S_{21} : F
 S_{12} : F
 in
 S_{22} : K

 Jika
 berjak
 kompo

 V_{in}
 V_{out}
 $= S \begin{bmatrix} V_{in} \\ V_{out} \end{bmatrix}$

 Karakt
 dan pa
 2 ata
 koneks
 Matrix
 dihitun
 dalam
 Micro
 mengg
 Blocks
 diguna

 Kompo
 sikan d
 Melalu
 Mathem
 Dalam
 interak
 Couplin
 dapat d

 Suatu
 merupa
 direpres
 $2n$ [9]
 mengko

V^+ dalam arah forward dan V^- dalam arah backward. Total tegangan yang terjadi merupakan penjumlahan dari 2 gelombang tersebut. Asumsikan bahwa medium yang digunakan lossless dan homogen, maka fasa setiap gelombang akan bervariasi secara linier terhadap jarak sedangkan amplitud konstan. Komponen Microwave dapat direpresentasikan dengan parameter *Scattering (Frequency Dependent)*, yaitu :

- S_{11} : Koefisien refleksi
- S_{21} : Fungsi transfer dari input ke output
- S_{12} : Fungsi transfer *backward*, dari output ke input
- S_{22} : Koefisien refleksi *backward*

Jika $V_{in}^{+/-}$ merepresentasikan gelombang berjalan *Forward* dan *backward* pada input komponen $V_{out}^{+/-}$ pada output maka didapat :

$$\begin{bmatrix} V_{in} - \\ V_{out} - \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{in} + \\ V_{out} + \end{bmatrix}$$

$$= S \begin{bmatrix} V_{in} + \\ V_{out} + \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2)$$

Karakteristiknya adalah *Scattering Matrix S* dan parameter scattering adalah parameter S. 2 atau lebih komponen yang diinterkoneksi dapat direpresentasikan *Scattering Matrix* maka yang dihasilkan, yang dapat dihitung dari parameter S masing-masing dalam arah lurus. Komponen-komponen *Microwave* dapat disimulasikan dengan menggunakan *RF toolbox Matlab* dan *RF Blockset Simulink*. Parameter S dapat digunakan sebagai model Fisik.

Komponen-komponen dapat diinterkoneksi dan dihubungkan ke model Matematika melalui Blok konversi *Physical-to-Mathematical* dan *Mathematical-to-Physical*. Dalam system antenna array selalu ada interaksi antara elemen-elemen (*Mutual Coupling*) yang berarti bahwa antenna tidak dapat dipandang sebagai suatu isolasi.

Antena Array Antena dengan n-elemen merupakan komponen Multiport yang direpresentasikan oleh Scattering Matrix $2n \times 2n$ [9]. Solusi yang mungkin adalah mengkoneksikan semua antenna satu sama

lain dalam *RF Blockset*, dimana koneksinya termasuk parameter S [10].

Asumsikan model transmisi yang digambarkan pada gambar 3, hanya system 2×2 yang ditampilkan untuk kemudahan saja tetapi prinsipnya sama dengan penerapannya dalam kasus-kasus yang umum. Power Amplifier dibagi menjadi model Matematik yang meliputi karakteristik Transfer dan bagian Fisik yang terdiri dari hanya parameter S_{22} saja. Transmisi *Backward* diabaikan dalam sebagian besar penerapannya. Setiap interaksi diantara Power Amplifier juga diabaikan. Semua *Power Amplifier (PA)* dihubungkan ke *Matching Network* yang bertujuan untuk me-maksimal-kan efisiensi *Array Antena*.

Singkatnya untuk menghilangkan efek mutual coupling diantara antenna-antenna tersebut. *Matching Network* dihubungkan ke Antena-antena yang berbeda yang dibagi menjadi model matematika dan model fisik. Secara Fisik Antena merepresentasikan Refleksi sendiri (*Self-Reflection*) dari Antena tersebut dan kemungkinan adanya mutual coupling. Secara Matematikal digunakan untuk model pola radiasi (*Radiation Pattern*) dari setiap Antena dan seharusnya merupakan pola radiasi terisolasi jika mutual coupling diperhitungkan.

Jika *RF Blockset* tidak dapat menangani komponen-komponen Fisik Multiport, maka bagian fisik dari dari model Transmisi diimplementasikan dengan menggunakan Fungsi Matlab. Fungsi Matlab tersebut dapat melakukan komputasi (perhitungan) terhadap *Scattering Matrix Multiport* secara keseluruhan dari parameter S.

Blok yang dihasilkan tersebut di-transformasi-kan ke model matematika *MultiChannel* (banyak kana!) yang terdiri dari hanya Fungsi Transfer saja. Ini sesuai dengan nilai parameter S_{21} .

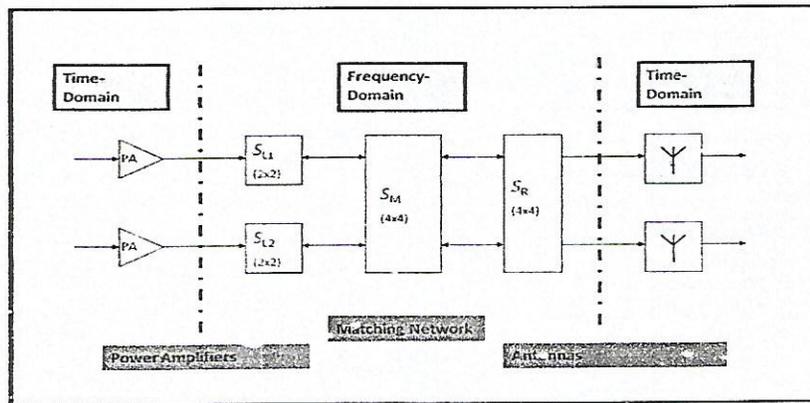
Representasi Matematik dari bagian fisik secara keseluruhan dalam gambar-3 dihubungkan ke input dari model Matematik *Power Amplifier (PA)* dan outputnya dihubungkan ke model matematik antena.

Ini dikerjakan dengan Simulink, dimana model matematik *multichannel* tidak seperti model fisik dapat dikoneksikan dan ditangani dengan baik.

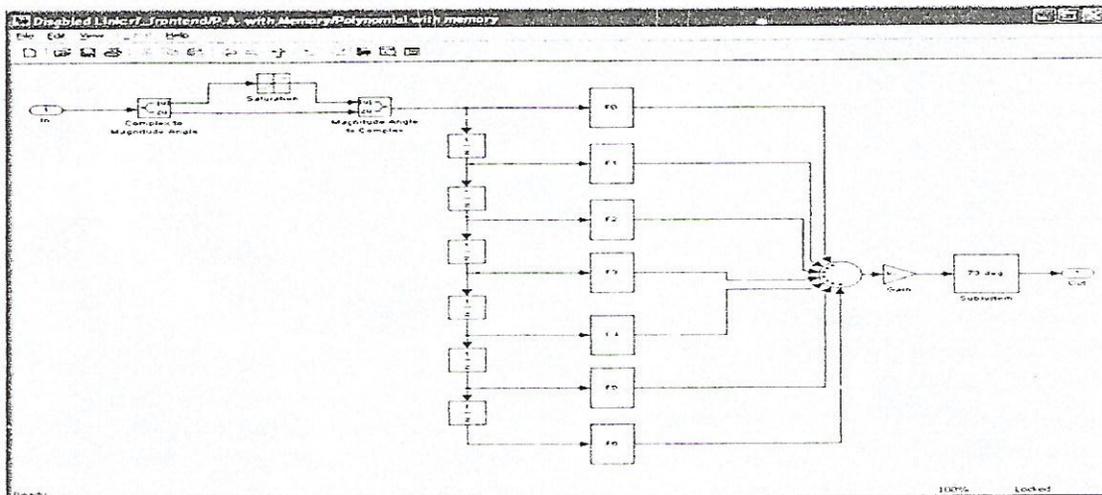
Bagian ini hanya menjelaskan mengenai simulasi dari *transmitter multi elemen*. Prosedur yang sama digunakan untuk *array antenna* penerima dan komponen RF. Ini menghasilkan *transfer function* 2 buah MIMO (model matematika) yang dihubungkan melalui *transfer function canal wireless*

MIMO. Full sistem dapat di-simulasi-kan ke dalam Simulink. Karakteristik model *transmitter* dan *receiver* dilakukan dalam domain Frekuensi dan dimasukkan dalam standar format pilihan.

Meskipun dalam *Domain Frekuensi*, simulasi biasanya dilakukan dalam domain waktu dengan menghitung *Impulse Respons Matrix* yang dihasilkan dari Transfer Function dengan *Inverse Fourier Transform*.



Gambar 3. Koneksi amplifier, matching network dan antenna menggunakan perpaduan model matematika (*Transfer Function*) dan model fisik (Parameter S)



Gambar 4. Non-Linear Amplifier di-model-kan sebagai model Memory Polynomial, diimplementasi-kan dalam bentuk Simulink

6. KESIMPULAN

Tulisan ini menggambarkan implementasi model simulink dari bagian perangkat keras (*Hardware*) sistem komunikasi *Wireless* MIMO. Dalam model ini memasukkan amplifier (PA dan LNA), *Mixer*, *Matching Network* dan *Array Antena* pada sisi *transmitter* dan *receiver*.

Implementasi dari model *scattering* acak (*random*) kanal *wireless* MIMO juga di representasikan.

Implementasi spesifik dikembangkan untuk menangani *transmitter multi antena* dan *multi receiver*, juga untuk me-modelkan PA non linier dengan memory. Contoh simulasi sederhana direpresentasikan untuk mengilustrasikan bagaimana *simulator* dapat digunakan. Pada waktu berikutnya akan dimasukkan banyak contoh-contoh dari semua bagian-bagian dari simulator dan variasi model-model komponen.

Hal ini akan memungkinkan menentukan efek level system dari perancangan *Hardware*. Sebagai tambahan, ini untuk membuktikan hasil simulasi terhadap eksperimen *Hardware* secara riil dan pengembangan teknik untuk mengoptimasi dan meningkatkan unjuk kerja Sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- 1) N. Seifi, A. S. Tehrani, and M. Viberg, "Simulation of a Wideband Reconfigurable Multi-Antenna System with Space-Time Coding," in Nordic Matlab Users Conference, Stockholm, Sweden, Nov. 2008, submitted.
- 2) P. Wolniansky, G. Foschini, G. Golden, and R. Valenzuela, "V-BLAST: An Architecture for Realizing Very High Data Rates Over the Rich- Scattering Wireless Channel," in Proc. 1998

URSI Int. Symp. on Sign., Syst., and Elect., 1998, pp. 295–300.

- 3) G. Foschini and M. Gans, "On Limits of Wireless Communications in a Fading Environment when Using Multiple Antennas," *Wireless Personal Communications*, vol. 6, pp. 311–335, March 1998.
- 4) S. Alamouti, "A Simple Transmit Diversity Technique for Wireless Communications," *IEEE J Sel. Areas in Comm.*, vol. 16, no. 8, pp. 1451–1458, Oct. 1998.
- 5) J. G. Proakis, *Digital Communications*, third edition ed. McGraw-Hill, 1995.
- 6) M. Steinbauer, A. Molisch, and E. Bonek, "The Double-Directional Radio Channel," *IEEE AP Magazine*, vol. 43, no. 4, pp. 51–63, Aug. 2001.
- 7) H. Huang, "Spacial channel model for multiple input multiple output (mimo) simulations," <http://www.3gpp.mobi/ftp/specs/htmlinfo/25996.htm>, Dec. 2004, as read 2008-09-12.
- 8) [8] D. Pozar, *Microwave and RF Design of Wireless Systems*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2001.
- 9) B. Smith and M.-H. Carpentier, *The Microwave Engineering Handbook*, Vol 1. Chapman and Hall, 1993.
- 10) O. Moussa and M. Bilal, "Impact of Matching Network on the Performance of Antenna Arrays," Master's thesis, Chalmers University of Technology, Department of Signals and Systems, Mar. 2008.
- 11) K. Warnick and M. Jensen, "Optimal Noise Matching for Mutually Coupled Arrays," *IEEE Trans. AP*, vol. 55, no. 6, pp. 1726–1731, June 2007, part 2.
- 12) E. Arabi and S. Ali, "Modeling and Simulation of RF Front-End," Master's thesis, Chalmers University of Technology, Department of Signals and Systems, Mar. 2008.

PENULIS :

Ir. Yamato, MT., Staf Dosen Program Studi Teknik Eelektro FT-Unpak Bogor