

Sistem Pengukuran Kanal MIMO 2x2 Pada Domain Waktu Menggunakan USRP NI2922

Martianda Erste Anggraeni¹, Puji Handayani²

Institut Teknologi Sepuluh Nopember¹
martianda13@mhs.ee.its.ac.id

Institut Teknologi Sepuluh Nopember²
piji@ee.its.ac.id

Abstrak

Pengetahuan yang tepat mengenai kondisi kanal MIMO sangat penting untuk mengevaluasi kinerja sistem komunikasi MIMO. Untuk mengetahui kondisi kanal MIMO di lingkungan yang realistis diperlukan pengukuran respon impuls. Salah satu teknik pengukuran respon impuls propagasi kanal radio menggunakan PN (*pseudorandom noise*) *sequence* yang bekerja pada domain waktu. Dengan bekerja pada domain waktu maka kerumitan perhitungan matematis yang dibutuhkan dalam menganalisa suatu sistem dapat berkurang. Pada penelitian ini diulas sistem pengukuran kanal MIMO 2x2 pada domain waktu menggunakan USRP NI2922 pada frekuensi 2,4 GHz. Respon impuls kanal MIMO diperoleh melalui korelasi silang data Inphase dan Quadrature hasil pengukuran dengan sinyal yang telah dibangkitkan di transmitter. Proses eliminasi efek noise untuk mendapatkan sinyal asli dilakukan dengan metode Sousa meliputi thresholding, cek konsistensi dan cek impuls tetangga. Hasil pengukuran kanal MIMO dengan satu dinding sebagai penghambur menunjukkan bahwa dengan sampling rate alat sebesar 33,33 MHz, perangkat mampu memisahkan dua komponen sinyal yang memiliki interval delay \geq resolusi delay (60 ns).

Kata Kunci: korelasi silang, multiple-input multiple-output, respon impuls.

1. Pendahuluan

Peningkatan kualitas sinyal dan peningkatan kapasitas sistem komunikasi nirkabel dapat dicapai dengan menerapkan teknologi MIMO (multiple-input multiple-output), yakni menggunakan antenna jamak baik pada sisi pemancar maupun pada sisi penerima. Penelitian (Goldsmith 2004), menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kecepatan pengiriman data secara signifikan pada sistem komunikasi MIMO.

Pengetahuan yang tepat mengenai kondisi kanal MIMO sangat penting untuk mengevaluasi kinerja sistem komunikasi MIMO. Untuk mengetahui kondisi kanal MIMO di lingkungan yang realistis diperlukan pengukuran respon impuls. Salah satu teknik pengukuran respon impuls propagasi kanal radio menggunakan PN (*pseudorandom noise*) *sequence* yang bekerja pada domain waktu, dimana sinyal yang dikirim dan diterima dimengerti sebagai fungsi dari waktu. Dengan bekerja pada domain waktu maka kerumitan perhitungan matematis yang dibutuhkan dalam menganalisa suatu sistem dapat berkurang. Analisa waktu *delay* dan jarak tempuh sinyal yang berpropagasi di suatu kanal radio lebih mudah dilakukan pada domain waktu.

Pada penelitian ini diulas system pengukuran kanal MIMO 2x2 pada domain waktu

menggunakan platform *software defined radio* (SDR) pada frekuensi 2,4 GHz. Respon impuls kanal MIMO diperoleh melalui korelasi silang data Inphase dan Quadrature hasil pengukuran dengan sinyal yang telah dibangkitkan di transmitter Pada penelitian ini eliminasi efek noise untuk mendapatkan sinyal asli yang diterima dilakukan dengan metode pada penelitian (Sousa 1994) meliputi thresholding, cek konsistensi dan cek impuls tetangga.

2. Teori Penunjang

Untuk menyelesaikan permasalahan yang diangkat pada penelitian ini, dibutuhkan teori penunjang antara lain MIMO, korelasi silang, dan eliminasi noise.

2.1 Metode Pengumpulan Data

Penggunaan antenna jamak di sisi pemancar dan penerima ini dapat meningkatkan kinerja yang ada melalui sistem diversity. Pada sistem MIMO, Respon impuls kanal dua-arah sistem MIMO dinyatakan dengan persamaan (1) (Litva dan Leung 1994):

$$h[\varphi_{RX}, \theta_{RX}, \tau, \varphi_{TX}, \theta_{TX},] = \sum_{l=1}^L h_l \quad (1)$$

dengan h_l dijabarkan pada persamaan (2) (Paulraj 1997):

$$h_l = \alpha_l \delta(\tau - \tau_l) \delta(\varphi_{RX} - \varphi_{RX,l}, \theta_{RX} - \theta_{RX,l}) \quad (2)$$

dimana θ_{RX} dan θ_{TX} merupakan elevasi di sisi penerima dan sisi pemancar, φ_{RX} dan φ_{TX} merupakan azimuth di sisi penerima dan sisi pemancar, τ merupakan delay, $\theta_{RX,l}$ dan $\theta_{TX,l}$ merupakan elevasi DOA serta elevasi DOD lintasan jamak ke- l , $\varphi_{RX,l}$ dan $\varphi_{TX,l}$ merupakan azimuth DOA serta azimuth DOD lintasan jamak ke- l , sedangkan τ_l dan α_l merupakan delay dan amplitud kompleks lintasan jamak ke- l , dengan L adalah jumlah komponen lintasan jamak. Matriks kanal MIMO setiap delay ke- l dinyatakan dalam bentuk persamaan (3) (Mathews 1996):

$$\mathbf{H}_l = \begin{bmatrix} h_{11,l} & \cdots & h_{1m,l} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{n1,l} & \cdots & h_{nm,l} \end{bmatrix} \quad (3)$$

dengan n dan m merupakan jumlah elemen antena di sisi penerima dan jumlah elemen di sisi pemancar.

2.2 Korelasi Silang

Mengacu dari persamaan (4), respon impuls kanal diperoleh melalui korelasi silang antara sinyal input $x(t)$ dengan sinyal output $y(t)$ (Rappaport 2002).

$$\rho_{yx}(\tau) = \sum_{t=-\infty}^{t=\infty} x(t)y(t-\tau) \quad (4)$$

$$\rho_{yx}(\tau) = \sum_{t=-\infty}^{t=\infty} x(t)x(t-\tau)h(t-\tau) \quad (5)$$

Dari persamaan (5) menunjukkan bahwa untuk memperoleh respon impuls kanal dapat dilakukan dengan proses korelasi silang antara sinyal di penerima $y(t)$ berupa data I dan data Q dengan sinyal yang dikirim $x(t)$ berupa PN sequence. Fungsi korelasi silang merupakan dua operasi linear sehingga dapat dilakukan tukar posisi dimana auto korelasi sinyal dilakukan terlebih dahulu kemudian dilakukan konvolusi dengan $h(t)$. Dengan mengatur sinyal input $x(t)$ sehingga diperoleh $\rho_{xx}(\tau)$ yang merupakan proses auto korelasi ditunjukkan pada persamaan (6).

$$\rho_{xx}(\tau) = \sum_{t=-\infty}^{t=\infty} x(t)x(t-\tau) \quad (6)$$

Sehingga diperoleh respon impuls kanal dapat dirumuskan menjadi persamaan (7).

$$\rho_{yx}(\tau) = \sum_{t=-\infty}^{t=\infty} \rho_{xx}(\tau)h(t-\tau) \quad (7)$$

dimana $x(t-\tau)$, $y(t-\tau)$, dan $h(t-\tau)$ merupakan sinyal input, sinyal output, dan respon impuls yang telah digeser sejauh τ .

2.3 Eliminasi Noise

Eliminasi untuk menghilangkan efek noise dan mendapatkan sinyal asli yang diterima dilakukan dengan metode penelitian (Sousa 1994). Langkah awal adalah menentukan threshold dengan cara mengestimasi level nilai dari background *thermal noise*. Noise diasumsikan sebagai Gaussian noise dimana amplitud noise diasumsikan berdistribusi Rayleigh.

Pada algoritma ini dicari probability daya noise (σ_N^2) merupakan median dari sampel dan (ζ) merupakan nilai probabilitas amplitud dari noise yang melebihi tingkat tertentu didapat dengan menggunakan persamaan (8).

$$P = \exp\left(-\frac{\zeta^2}{2\sigma_N^2}\right) \quad (8)$$

Level median yang telah ditentukan (σ_m) dapat diperoleh dengan mengatur $\zeta = \sigma_m$ dan memasukkan nilai P pada persamaan (8) sehingga diperoleh persamaan (9).

$$\sigma_N = \frac{\sigma_m}{\sqrt{\ln 4}} \approx 0,85\sigma_m \quad (9)$$

Pada metode ini threshold ditentukan terlebih dahulu untuk mendapatkan sebuah nilai *constant false alarm rate* (CFAR). Metode ini sering digunakan untuk mengetahui nilai *multipath* dengan syarat kebutuhan threshold harus ditetapkan sebagai $\zeta = \eta\sigma_N$ dan ζ bernilai konstan. Probabilitas dari noise yang melebihi batas threshold pada sampel yang bukan merupakan sinyal (atau sama dengan nilai probabilitas false alarm per sampel) diperoleh dengan persamaan (10).

$$P_f = \exp\left(-\frac{\eta^2}{2}\right) \quad (10)$$

Setelah memperoleh nilai threshold, diambil sampel respon impuls yang lebih besar atau sama dengan P_f dari nilai threshold.

Dengan mempertimbangkan *impulse noise*, ternyata algoritma terbaik dimana data dinyatakan mengandung *valid echo*, hanya jika sesuai dengan dua kondisi ini:

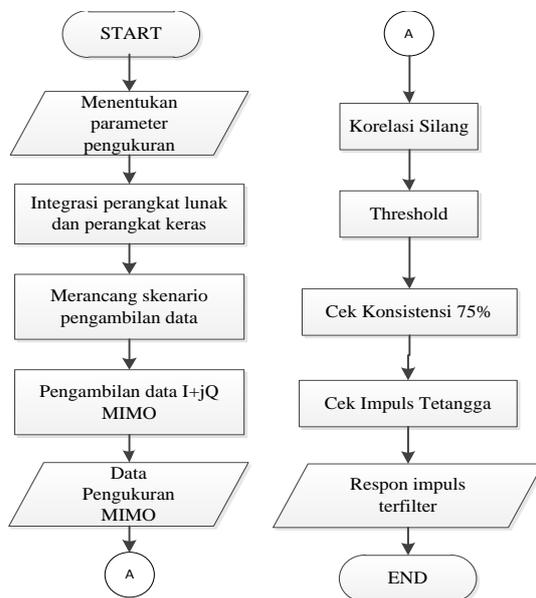
- Impuls-impuls tersebut konsisten berada di atas ambang batas threshold untuk tiga rekaman respon impuls kanal.
- Minimal terdapat satu impuls tetangga dari hasil cek konsistensi.

3. Implementasi Sistem Pengukuran

Implementasi sistem pengukuran kanal radio pada penelitian ini dikelompokkan dalam prosedur pengukuran, parameter sistem pengukuran, dan skenario pengukuran.

3.1 Prosedur Pengukuran

Prosedur pengukuran terdiri dari penentuan parameter pengukuran termasuk menentukan resolusi delay dan link budget. Setelah parameter pengukuran ditentukan, dilakukan perancangan sistem dengan mengintegrasikan seluruh perangkat baik software maupun hardware. Skenario pengambilan data dirancang untuk memperoleh hasil pengukuran yang optimal. Hasil pengukuran berupa data kompleks I+jQ, selanjutnya dikorelasi silang untuk memperoleh respon impuls kanal radio. Pada penelitian ini eliminasi efek noise untuk mendapatkan sinyal asli yang diterima dilakukan dengan metode pada penelitian (Sousa 1994). Flowchart prosedur pengukuran penelitian ini ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Flowchart Prosedur Pengukuran

3.2 Parameter Pengukuran

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran kanal radio pada frekuensi 2,4 GHz berdasarkan standar spesifikasi IEEE 802.11. Mengingat padatnya frekuensi 2,4 GHz, maka diperlukan monitoring spektrum frekuensi 2,4 GHz dari kanal 1 sampai kanal 14 untuk memilih kanal kosong sebagai kanal pengukuran. Hasil monitoring frekuensi menunjukkan terdapat frekuensi kosong pada channel 2,3,4, dan 5 sehingga dipilih frekuensi 2,427 GHz sebagai frekuensi center.

Resolusi delay suatu alat ukur menunjukkan kemampuan alat ukur untuk mendeteksi dan memisahkan komponen sinyal satu dengan sinyal lainnya dalam satuan waktu tertentu. Pada penelitian ini dilakukan pengukuran kanal (*channel sounding*) menggunakan perangkat USRP (*Universal Software Radio Peripheral*) NI2922 yang merupakan salah satu platform

software defined radio (SDR). Perangkat ini memiliki sampling rate maksimum 40 MHz, yang artinya memiliki periode chip sebesar 50 ns. Berdasarkan (Rappaport 2002) diperoleh resolusi delay alat ukur \geq periode chip, artinya alat ukur mampu mendeteksi dan memisahkan komponen sinyal yang memiliki perbedaan waktu delay minimum 50 ns.

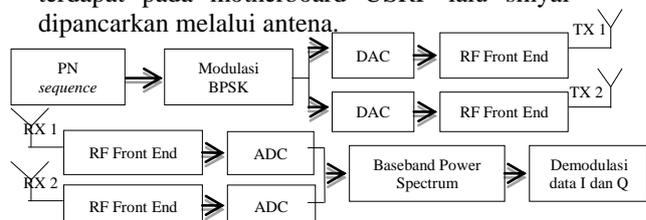
Untuk implementasi sistem MIMO 2x2, perangkat USRP NI2922 memiliki penurunan sampling rate menjadi 33,33 MHz yang artinya memiliki periode chip sebesar 60 ns. Dengan spesifikasi alat ukur tersebut maka diperoleh resolusi delay sistem MIMO sebesar 60 ns, artinya alat ukur mampu mendeteksi dan memisahkan komponen sinyal yang memiliki perbedaan waktu delay minimum 60 ns. Sementara set-up pengukuran disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Parameter Pengukuran

Parameter	Value
Frekuensi Kerja	2,427 GHz
Orde PN Sequence	8
Panjang kode PN	255
IQ Sampling rate	33,33 MHz
Sample/symbol	2
IQ Symbol rate	16,665 MHz
Resolusi delay	≥ 60 ns
Panjang maksimum respon impuls	15300 ns
Modulasi	BPSK
Daya Pancar	-5 dBm
Gain USRP TX	0 sampai 31,5 dB
Gain antenna TX	3 dBi
Gain amplifier eksternal Tx	17 dB
Gain antenna RX	3 dBi
Sensitivitas RX	-100 dBm

3.3 Set Up Pengukuran

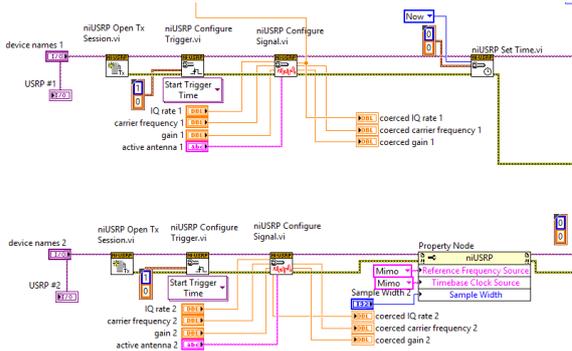
Implementasi sistem pengukuran di sisi pemancar dan penerima dapat dilihat pada gambar 2, dimana PN sequence dibangkitkan lalu dimodulasi menggunakan modulasi digital BPSK. Sinyal termodulasi ini selanjutnya diubah menjadi analog menggunakan DAC yang terdapat pada motherboard USRP lalu sinyal dipancarkan melalui antenna.



Gambar 2. Konfigurasi Sistem Pengukuran

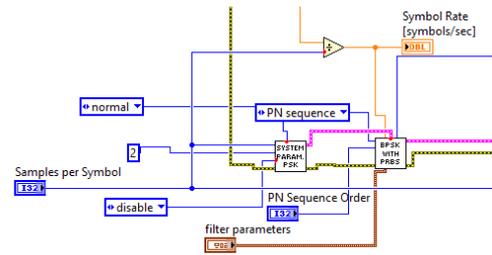
Blok niUSRP Open Tx Session sebagai pembuka program, sementara niUSRP Configure Trigger untuk memberikan trigger sinyal yang dapat diatur sesuai kebutuhan. Selanjutnya ditentukan

beberapa parameter dari sinyal Tx (pemancar) dengan menggunakan fungsi niUSRP Configure Signal. Beberapa parameter yang ditentukan diantaranya IQ rate, gain, frekuensi carrier dan antenna yang digunakan. Besarnya IQ rate secara tidak langsung menentukan bandwidth, gain ada besarnya daya pancar sinyal dalam satuan dB, frekuensi carrier adalah besarnya frekuensi yang digunakan untuk transmisi data. Besarnya frekuensi carrier yang digunakan harus disesuaikan dengan range frekuensi yang disediakan. Nilai range frekuensi ditentukan dari tipe NI USRP yang digunakan. Pada konfigurasi sinyal diperlukan penentuan antenna yang digunakan karena pada NI USRP disediakan satu antenna pemancar (TX1). Proses inialisasi perangkat USRP dan penentuan parameter pemancar seperti pada gambar 3. Nilai coerced IQ rate, coerced carrier frequency, dan coerced gain menentukan besarnya IQ rate sesungguhnya, frekuensi kerja sesungguhnya, dan gain sesungguhnya. Sedangkan niUSRP Set Time untuk mengatur timestamp. Pada penelitian ini, agar dapat memaksimalkan bandwidth maka sinyal yang dibangkitkan disample menjadi 8 bit. Untuk memilih penggunaan 8 bit ini maka perlu ditambahkan properti node tambahan yaitu sample width yang diatur 8 bit. Jika blok sample width ini tidak ditambahkan maka secara default terprogram menggunakan 16 bit. Untuk sinkronisasi kedua perangkat USRP TX ini maka perlu ditambahkan property node yang mengatur reference frequency dan timebase clock source. Karena sinkronisasi pengukuran kali ini menggunakan kabel MIMO maka dipilih MIMO sebagai reference frequency dan timebase clock source.



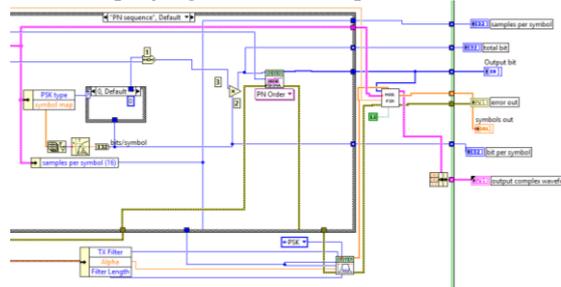
Gambar 3. Inialisasi perangkat USRP dan penentuan parameter pemancar

Pada pengukuran ini, sinyal yang dikirimkan berupa kode PN yang termodulasi BPSK, sehingga diperlukan blok vi untuk men-generate kode PN dan blok vi untuk proses modulasi seperti yang terlihat pada gambar 4.



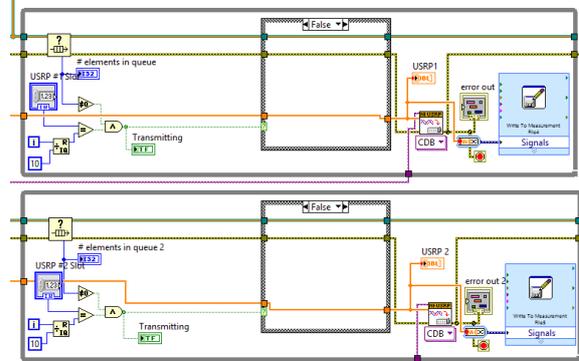
Gambar 4. Blok vi Generate Kode PN dan Modulasi BPSK

Di dalam blok vi di atas jika dibuka berisi sekumpulan blok-blok yang salah satunya berupa blok untuk menentukan jenis kode PN yang akan dibangkitkan seperti pada gambar 5. Ada dua cara membangkitkan kode PN yang telah disediakan oleh NI yaitu cara pertama membangkitkan kode PN berdasar inputan primitive polynomial yang hendak digunakan, cara kedua membangkitkan kode PN berdasar inputan PN orde yang dapat dipilih antara orde 5 sampai orde 20. Pada pengukuran kali ini kode PN dibangkitkan melalui cara kedua yakni dengan menentukan PN orde 8, sehingga kode PN yang dibangkitkan memiliki panjang kode 255 sample.



Gambar 5. Blok vi PN Orde

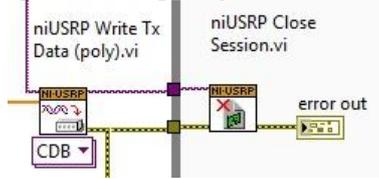
Pengukuran kanal MIMO yang dibangun pada penelitian ini menggunakan skema TDM, dimana USRP #1 dan USRP #2 bekerja secara bergantian. Skema TDM dapat dilihat pada gambar 6. Jika USRP #1 aktif mengirimkan sinyal maka USRP #2 mengirimkan data 0+j0, begitu pula sebaliknya.



Gambar 6. Skema TDM USRP #1 dan USRP #2

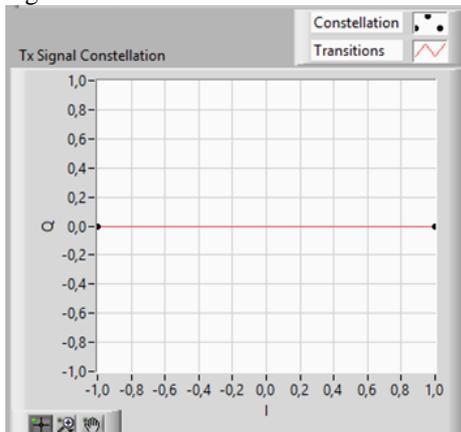
Bagian akhir pada sisi pemancar adalah proses pengiriman sinyal menggunakan fungsi niUSRP Write Tx Data. Sinyal yang dikirim berupa sinyal

complex I dan Q. Setelah sinyal dikirim dilakukan penutupan session dengan memanggil fungsi niUSRP Session Close. Proses pengiriman sinyal seperti terlihat pada gambar 7.



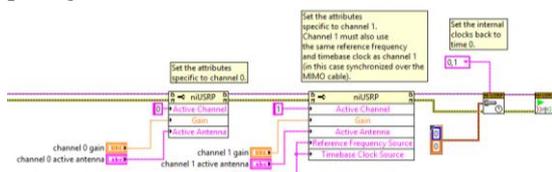
Gambar 7. Proses pengiriman sinyal menggunakan USRP

Sinyal yang dikirimkan merupakan sinyal termodulasi BPSK yang hanya memiliki dua nilai yaitu +1 dan -1, sehingga diagram konstelasi sinyal yang dikirimkan ditunjukkan pada gambar 8.



Gambar 8. Diagram Konstelasi Sinyal Termodulasi BPSK

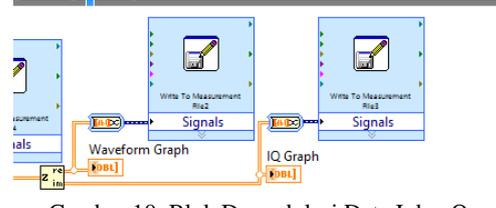
Seperti pada sisi pemancar, pada sisi penerima juga diperlukan pengaturan sinkronisasi dua perangkat penerima. Sinkronisasi kedua perangkat USRP RX dilakukan dengan menambahkan property node, dimana reference frequency dan timebase clock source diatur MIMO mengingat sinkronisasi secara hardware adalah menggunakan kabel MIMO. Selain itu juga perlu diinisialisasi channel mana saja yang aktif, pada pengukuran ini USRP #1 menggunakan channel 0 dan USRP #2 menggunakan channel 1 seperti yang terlihat pada gambar 9.



Gambar 9. Sinkronisasi dan Pemilihan Channel di Sisi Penerima

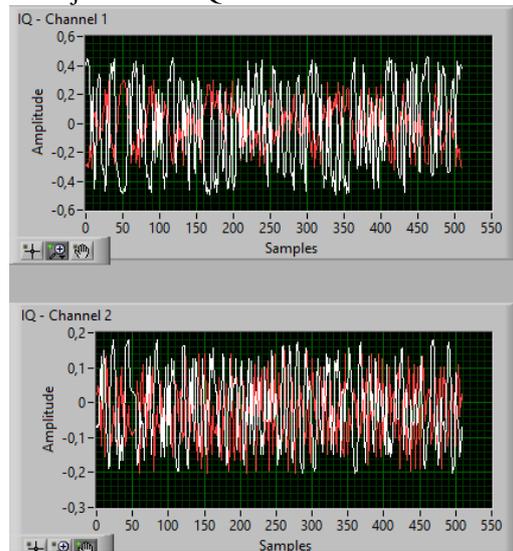
Hasil pengukuran adalah berupa data I+jQ, bilangan kompleks ini dipisahkan untuk mendapatkan data I dan data Q menggunakan blok converter complex to Re/Im. Selanjutnya

data I dan Q disimpan menggunakan blok write to measurement file ke dalam format tdm seperti pada gambar 10.



Gambar 10. Blok Demodulasi Data I dan Q

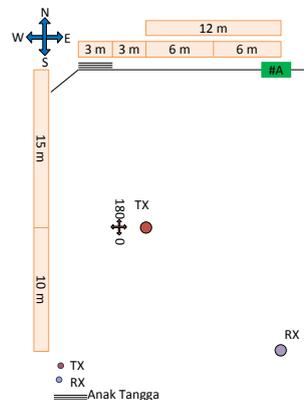
Data I dan Q di kedua channel MIMO ditunjukkan pada gambar 11, dimana garis putih menunjukkan data I sedangkan garis merah menunjukkan data Q



Gambar 11. Data I dan Q di Sisi Penerima

3.4 Skenario Pengukuran

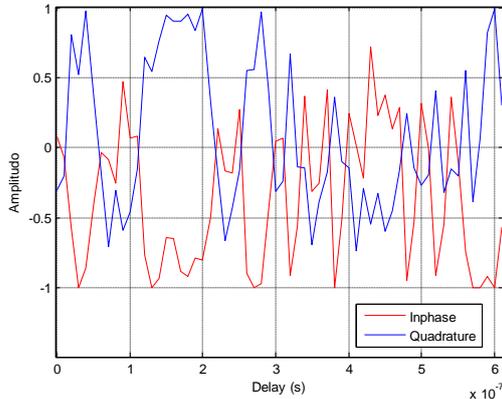
Skenario pengukuran MIMO satu hop berada di halaman gedung robotika ITS (outdoor) dengan satu dinding sebagai pemantul, denah dapat dilihat pada gambar 12. Antena TX berada 15 meter dari gedung robotika, antenna RX berada 25 meter dari gedung robotika, jarak antenna TX dengan antenna RX ± 15 meter, antenna TX dan antenna RX memiliki ketinggian yang sama yaitu ± 1 meter dan terbebas dari Fresnel zone.



Gambar 12. Denah Pengukuran

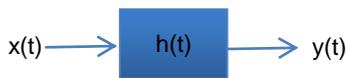
4. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengukuran adalah berupa data *Inphase* dan *Quadrature* yang merupakan bilangan kompleks terdiri dari nilai real dan imajiner. Data I+*j*Q ini diubah menjadi bentuk polar sehingga didapatkan nilai magnitude dan phase. Sinyal *Inphase* dan *Quadrature* hasil pengukuran ditunjukkan dalam grafik pada gambar 13.



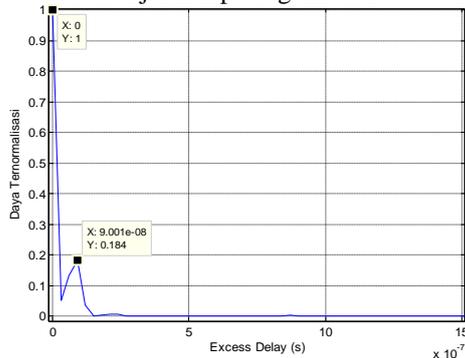
Gambar 13. Sinyal Inphase dan Quadrature

Respon impuls atau disebut juga $h(t)$ yang mempunyai nilai input $x(t)$ dan memiliki nilai output $y(t)$ dimana $h(t)$ adalah konvolusi dari $x(t)$ dan $y(t)$ seperti tunjukan pada gambar 14.

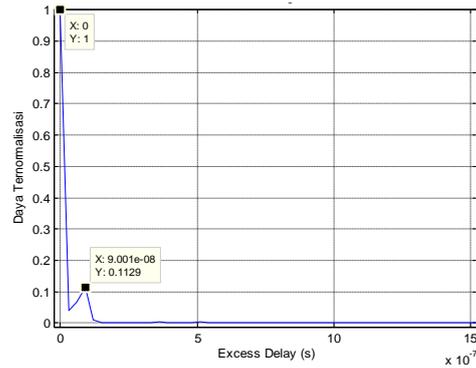


Gambar 14. Pemodelan Sistem Kanal Radio

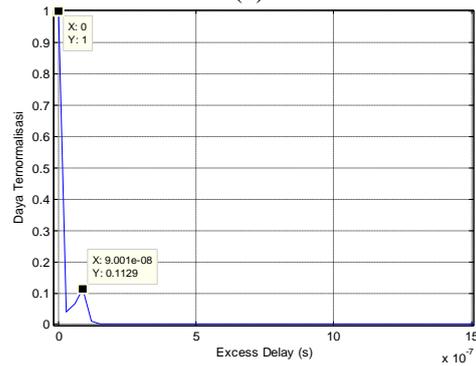
Data I dan data Q yang diperoleh dari hasil pengukuran, dikorelasi silang untuk memperoleh respon impuls kanal, baik kanal H11, H12, H21, dan H22. Mengacu dari penelitian (Sousa 1994), threshold eliminasi noise ditentukan sebesar 5% untuk masing-masing respon impuls. Hasil threshold ditunjukkan pada gambar 15.



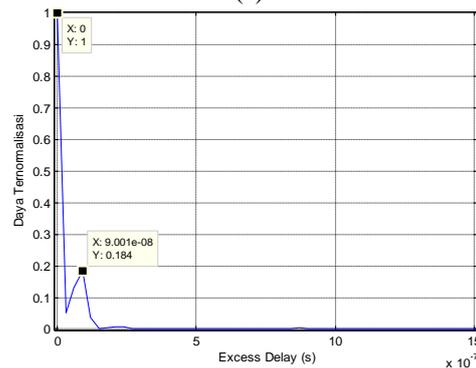
(a)



(b)



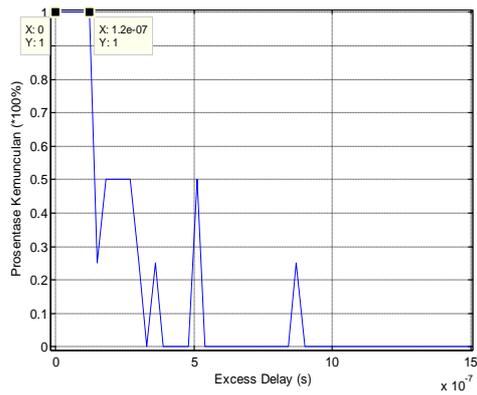
(c)



(d)

Gambar 15. Respon Impuls Kanal MIMO
(a) untuk Respon Impuls H11, (b) Respon Impuls H12,
(c) Respon Impuls H21, (d) Respon Impuls H22

Tahap selanjutnya, impuls-impuls di atas threshold dicek konsistensinya. Jika impuls tersebut konsisten selalu muncul selama selama tiga rekaman respon impuls kanal atau $\geq 75\%$ kemunculannya, maka impuls tersebut diambil. Tahap berikutnya, impuls-impuls yang konsisten selanjutnya dilakukan cek tetangga, dengan ketentuan minimal sebuah impuls harus memiliki satu impuls tetangga. Output proses cek konsistensi dan cek tetangga ditampilkan pada gambar 16.



Gambar 16 Cek Konsistensi Respon Impuls Kanal MIMO

Dari hasil cek konsistensi ini terlihat bahwa impuls pada excess delay 0 ns sampai dengan impuls pada excess delay 120 ns memiliki konsistensi kemunculan 100%, artinya selalu muncul impuls pada kanal H11, H21, H12, dan H22 di excess delay – excess delay tersebut. Dengan demikian impuls-impuls pada excess delay tersebut diasumsikan sebagai sinyal, bukan noise.

Ucapan Terima Kasih

Bapak Prof. Ir. Joko Lianto Buliali, M.Sc., PhD., yang telah memberikan ijin untuk melakukan pengukuran di lingkungan gedung robotika ITS.

Daftar Pustaka

- A. Goldsmith (2004). *Wireless Communication*. Cambridge University Press, England
- T. Lo, J. Litva, dan H. Leung (1994). *A new approach for estimating indoor radio propagation characteristics*. IEEE Trans. Antennas Propagat., vol.42, no. 10, pp. 1369{1376.
- A. V. D. Veen, M. Vanderveen, dan A. Paulraj. (1997). *Joint angle and delay estimation using shift-invariance properties*. IEEE Signal Processing Lett., vol. 4, pp. 142-145.
- M. Zoltowski, M. Haardt, dan C. Mathews. (1996). *Closed-form 2-D angle estimation with rectangular arrays in element space or beamspace via unitary ESPRIT*. IEEE Trans. Signal Processing., vol. SP-44, pp.316{328.
- T. S. Rappaport. (2002). *Wireless Communications*. United States of America: Pentice-Hall, Inc.
- Elvino S. Sousa. (1994). *Delay Spread Measurements for the Digital Cellular Channel in Toronto*. IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol 43, No. 4