

PERANCANGAN DAN SIMULASI SPHERE DETECTOR BASEBAND UPLINK RECEIVER PADA TEKNOLOGI LTE

(Design and simulation of LTE Sphere Detector Baseband Uplink Receiver)

Saddam Nusantara Sukoco¹ Dr. Rina Pudjiastuti, Ir., MT.² Denny Darlis, SSi., M.T.³
(saddamnusantara08@gmail.com) (rinapudjiastuti@telkomuniversity.ac.id) (dennydarlis@telkomuniversity.ac.id)

Fakultas Teknik Elektro – Universitas Telkom
Jl. Telekomunikasi, Dayeuh Kolot Bandung 40257 Indonesia

ABSTRAK

Perkembangan jaringan *wireless* yang cepat pada zaman ini tentu saja membutuhkan standar yang mengaturnya. Salah satu standar telekomunikasi yang digunakan, adalah 3GPP LTE (*The Third Generation Partnership Project Long Term Evolution*), yang merupakan sebuah kolaborasi asosiasi yang berasal dari beberapa negara. Sesuai standar tersebut, pengembangan jaringan *wireless* dengan kecepatan data yang tinggi pada masa yang akan datang merupakan isu yang penting. Salah satu teknik yang mendukung jaringan tersebut, sebagai contoh jaringan LTE, adalah sistem MIMO.

Ide dasar dari sistem MIMO adalah menggunakan penyebaran beberapa antena pada satu atau kedua ujung *link* komunikasi sehingga perlu penggunaan algoritma deteksi yang tepat di ujung penerima dan mengeksploitasi hamburan *multipath* yang merupakan fenomena umum dalam saluran *wireless*. *Sphere detection* merupakan salah satu solusi untuk deteksi pada MIMO yang memiliki banyak antena dan *modulation order* yang tinggi. Pada penelitian ini dirancang dan disimulasikan *Sphere Detector* dengan antena sistem 2x2, modulasi yang dipakai adalah 16 QAM dan 64 QAM, serta jumlah bit sebanyak 1280 – 1920000 bit.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa *Sphere Detector* memiliki performansi yang hampir sama dengan sistem deteksi lainnya, seperti *Maximum Likelihood Detector*. Misalnya pada BER 10^{-1} , maka SNR akan bernilai sama untuk SD dan untuk ML yaitu bernilai 9 dB modulasi 16 QAM dan 14.94 dB untuk modulasi 64 QAM. Sedangkan untuk waktu pemrosesan data pada BER 10^{-1} , *Sphere Detector* cenderung lebih baik dibandingkan dengan *maximum likelihood detector* pada modulasi orde tinggi.

Kata kunci : LTE, MIMO, *Sphere Detector*

ABSTRACT

The rapid development of wireless networks in this time requires standards that govern them. One of telecommunication standards used is 3GPP LTE (*The Third Generation Partnership Project Long Term Evolution*), which is a collaboration association originating from several countries. By that standard the development of wireless networks with high data rates in the future is an important issue. One of technique that supports the network for example LTE network is a MIMO system.

The basic idea of the MIMO system is used for distributing multiple antennas at one or both ends of the communication link that needs to use the proper detection algorithm on the receiving end and exploit multipath scattering which is a common phenomenon in wireless channels. *Sphere detection* which can be one solution for detection in MIMO antenna which has a lot of high order modulation. In this project was designed and simulated *Sphere Detector* with 2x2 antenna system the modulation used is 16 QAM and 64 QAM, as well as the number of bits as much 1280-1920000 bit.

The simulation results show that the *Sphere Detector* has performance similar to other detection systems, such as the *Maximum Likelihood Detector*. For example with BER 10^{-1} , the SNR will be the same value for the SD and for the ML are 9 dB for 16 QAM modulation and 14.94 dB for 64 QAM modulation. As for the data processing time, *Sphere Detector* tends to be better than the maximum likelihood detector on higher order modulation.

Keyword : LTE, MIMO, *Sphere Detector*

1. PENDAHULUAN

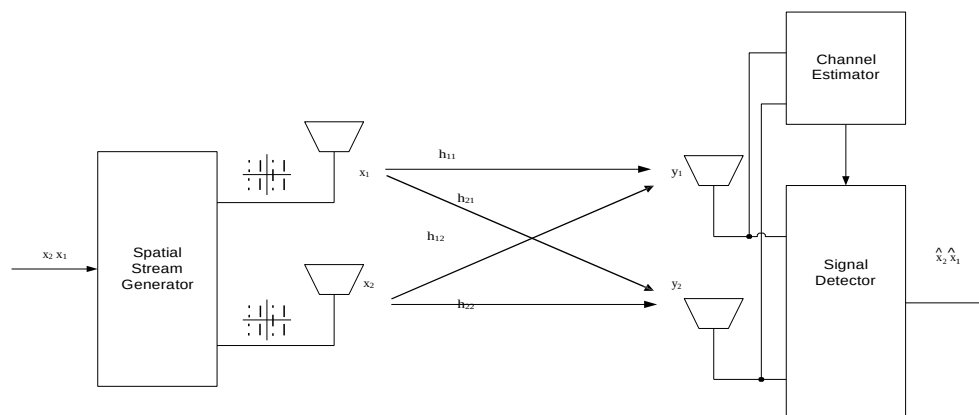
Pada saat ini perkembangan jaringan *wireless* sangat cepat meningkat. Ini disebabkan karena kelebihan dari sifat jaringan *wireless* itu sendiri yaitu jaringan *wireless* yang dapat dengan mudah dan diatur ulang konfigurasinya, mobilitas yang tinggi, dan sangat bebas untuk melakukan instalasi tanpa adanya kabel untuk melakukan hubungan dengan perangkat *end-user* atau pengguna layanan *wireless* itu sendiri [2]. Dengan demikian, jika membutuhkan

node baru untuk menjangkau suatu area dapat dengan cepat dan lebih mudah untuk melakukan instalasi. Perkembangan yang cepat ini tentu saja membutuhkan standar yang mengaturnya. Salah satu standar telekomunikasi yang digunakan, adalah 3GPP LTE (*The Third Generation Partnership Project Long Term Evolution*), yang merupakan sebuah kolaborasi asosiasi yang berasal dari beberapa negara. 3GPP LTE pun kini menghasilkan banyak standar yang dipakai sebagai acuan pada jaringan *next generation wireless* dan layanan seluler.

Dengan adanya standar tersebut, fungsi sistem MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) pada jaringan LTE yaitu dapat mengembangkan jaringan wireless dengan kecepatan data yang tinggi pada masa yang akan datang dan ini merupakan isu yang penting karena perkembangan perangkat *portable* yang semakin banyak di pasaran seperti, PDA (*Personal Digital Assistant*), komputer *notebook*, dan WAP (*Wireless Access Point*). Sistem MIMO sendiri pun bukan hanya membangun kecepatan data tinggi pada hubungan *point-to-point* jaringan saja tetapi juga meningkatkan sistem secara keseluruhan atau tergantung banyaknya pengguna (*point-to-multipoint*, *multipoint-to-point*, dan *multipoint-to-multipoint*). Maka ide dasar dari sistem MIMO adalah menggunakan penyebaran beberapa antenna pada satu atau kedua ujung *link* komunikasi sehingga perlu penggunaan algoritma deteksi yang tepat di ujung penerima dan mengeksplorasi hamburan *multipath* yang merupakan fenomena umum dalam saluran *wireless*.

Oleh karena itu, harapannya deteksi yang dipakai pada ujung penerima adalah *sphere detection* yang dapat menjadi salah satu solusi untuk deteksi pada MIMO yang memiliki banyak antenna dan *modulation order* yang tinggi. Sehingga dalam penelitian tugas akhir ini penulis mengambil judul tersebut karena *Sphere Detector* mempunyai fungsi yang sangat penting, yaitu dapat mengatasi permasalahan deteksi ML (*Maximum Likelihood*) dengan beberapa *performance loss* yang masih dapat diterima. Sehingga hasil dari penelitian ini akan didapatkan informasi bagaimanakah kualitas *sphere detector* yang telah dirancang dibandingkan dengan deteksi ML.

2. MODEL SISTEM

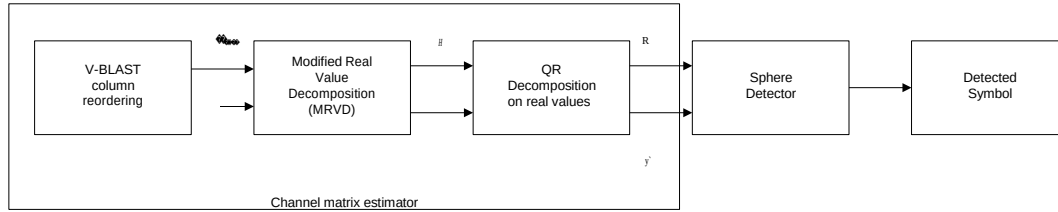


Gambar 1. *Spatially Multiplexed 2x2 MIMO Systems*[5]

Gambar 1 menunjukkan desain sistem Spasial Multiplexing MIMO (SM-MIMO), yang diadaptasi dari [5] yang dapat mengirimkan data pada kecepatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan sistem MIMO yang menggunakan teknik antenna *diversity*. Namun tugas spasial *demultiplexing* atau pendeteksian sinyal pada sisi penerima akan menjadi lebih rumit pada sistem SM-MIMO yang berada pada blok *signal detector* pada gambar. Sistem SM-MIMO tersebut memiliki 2 antenna pengirim, 2 antenna penerima dan H dinotasikan sebagai kanal matriks dengan (j,i) sehingga h_{ji} untuk menunjukkan *channel gain* antara antenna pengirim i dan j antenna penerima, dimana $j=1,2$ dan $i=1,2$. Data pengguna spasial-multiplexing dan sinyal yang diterima secara berurutan diwakili oleh x_1 dan x_2 , dimana x_1 dan x_2 menunjukkan sinyal transmisi dari i antenna pemancar dan sinyal yang diterima di j antenna penerima. Sehingga, pada sisi pengirim, *bit stream* akan di demultiplexing ke 2 *sub-stream* dan setiap *sub-stream* akan di petakan ke simbol oleh konstelasi yang sama dan dikirim ke antenna pemancar masing-masing. Dengan demikian, pada setiap simbol waktu t , sebuah vector sinyal dikirimkan dari ukuran 2 antenna pengirim ke 2 antenna penerima.

2.1 PERANCANGAN BLOK SPHERE DETECTOR

Perancangan desain blok *sphere detector* dilakukan dengan beberapa tahap yang di tunjukkan pada blok diagram di bawah ini :



Gambar 2. Blok diagram *sphere detector* [3]

Pada blok *channel matrix estimator*, nilai dan bentuk matrik kanal diadaptasi dari [3] dan akan di estimasi dengan cara melakukan *reordering* kanal. Metode yang dipakai penulis adalah V-BLAST, sehingga *substream* akan dapat di petakan kembali oleh konstelasi. Selanjutnya mengimplementasikan blok dekomposisi MRV dan QR. Pada blok MRVD, nilai yang masuk akan dikelompokkan sesuai bentuk bilangan *real* dan dapat meningkatkan kinerja BER. Sehingga pada *QR decomposition*, inputan yang masuk berupa nilai real yang akan diproses sesuai dengan rumus faktorisasi QR dan menghasilkan radius yang selanjutnya akan dipakai pada *sphere detector*. Pada blok *sphere detector*, radius akan mengecil jika terdapat beberapa vektor kandidat didalamnya dan akan membesar jika tidak ada vektor kandidat didalamnya. Penjelasan lebih lanjut blok *sphere detector* akan dijelaskan pada prinsip kerja sistem *sphere detector* dan diagram alur proses data *sphere detector*.

2.2 PERANCANGAN SPHERE DETECTOR

Sphere Detector (SD) berfungsi untuk mencari *vector* sinyal yang di kirim dengan metode mencari nilai *maximum-likelihood* yang terkecil. Akan tetapi, pencarian yang dilakukan hanya berdasarkan pada suatu lingkungan tertentu yang disebut dengan radius. Besarnya radius pencarian tersebut berubah-rubah sampai akhirnya menemukan satu kandidat vektor sinyal *maximum-likelihood (ML solution vector)*. *Sphere* tersebut selanjutnya akan memperbesar radius jika tidak menemukan satupun vektor kandidat didalamnya dan akan mengecilkan radius jika terdapat beberapa vektor kandidat didalamnya [5].

Berikut adalah penjelasan prinsip SD yang didapat dari pengembangan solusi deteksi ML [5] :

$$\mathbf{y} = \mathbf{H}\mathbf{x} + \mathbf{n} \quad (2.1)$$

Dimana $\mathbf{C}$ adalah legitimasi set simbol dikonstelasi modulasi dan N adalah banyaknya antenna yang bekerja pada sistem tersebut. Dengan demikian, potensi memiliki kompleksitas pencarian yang banyak atau lebih dapat terjadi karena bergantung dari nilai $\mathbf{C}$ dan N atau N tersebut, sehingga banyaknya potensi masalah pencarian pada aplikasi deteksi *fullsearch-based ML* dapat terjadi di skenario sistem yang lebih tinggi.

Pada bagian ini penulis mengambil contoh merancang *sphere detector* dengan spesifikasi kanal 2x2 kompleks MIMO dan memiliki modulasi 16 QAM. Misalnya terdapat sebuah sistem dimana y_{jR} dan y_{jI} menotasikan bagian real dan imajiner dari sinyal yang diterima dan x_{jR} dan x_{jI} menotasikan bagian real dan imajiner dari sinyal yang dikirim, maka bagian-bagian tersebut dapat direpresentasikan sebagai berikut [5]:

$$(2.2)$$

Dimana h_{jR} dan h_{jI} menotasikan bagian real dan imajiner dari kanal sistem dan z_{jR} dan z_{jI} menotasikan bagian real dan imajiner dari *noise* yang terdapat pada sistem. Selanjutnya persamaan (2.2) dapat di ekspressikan sebagai berikut [5] :

, sehingga

Selanjutnya dilakukan pengembangan yaitu [5] :

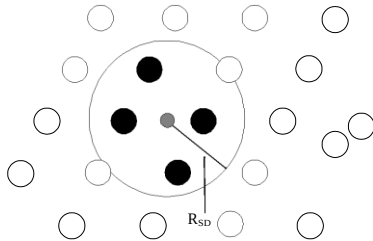
$$\mathbf{y} = \mathbf{H}\mathbf{x} + \mathbf{n} \quad (2.3)$$

$$\text{Dimana } \mathbf{H} = \begin{bmatrix} h_{1R} & h_{1I} \\ h_{2R} & h_{2I} \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

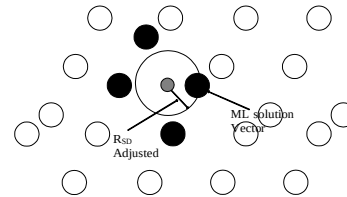
Perlu dicatat bahwa nilai λ independent dan tidak bergantung dari $\mathbf{H}$ sehingga persamaan (2.4) merupakan *unconstrained solution* dari sebuah sistem yang dipakai dipersamaan (2.3). Hal ini menunjukkan bahwa solusi ML dapat ditentukan dari metrik $\mathbf{H}^H \mathbf{H}$ dengan mempertimbangkan bahwa metrik tersebut berada di dalam radius R_{SD} [5] :

$$\mathbf{H}^H \mathbf{H} \leq R_{SD}^2 \quad (2.5)$$

Metode SD hanya mempertimbangkan vektor yang berada didalam radius dari persamaan (2.5). Berikut ilustrasi gambar :



Gambar 3. Radius Original [5]



Gambar 4. Radius Baru (pengurangan radius) [5]

Pada ilustrasi diatas menunjukkan titik pusat radius $= \mathbf{H}^H \mathbf{H}$ dan besarnya radius R_{SD} . Didalam radius terdapat 4 vektor kandidat dan satu diantaranya adalah kandidat vektor sinyal *maximum-likelihood (ML solution vector)*. Perlu dicatat bahwa vektor-vektor yang berada diluar radius tidak bisa menjadi kandidat vektor sinyal ML karena nilainya lebih besar di bandingkan yang berada didalam radius, maka kita mendapatkan persamaan baru, yaitu [5] :

Dimana $\mathbf{R}$ didapatkan dari QR^H decomposition dari metrik kanal $\mathbf{H}$ dan antenna yang dipakai. Akibatnya, mengingat $\mathbf{R}$ adalah metrik upper triangular, kita dapat menulis persamaan (2.6) menjadi [5] :

$$\begin{bmatrix} ? & & & \\ ? & ? & & \\ & ? & ? & \\ & & ? & ? \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

Dari persamaan (2.6) dan (2.7), radius dapat kita nyatakan sebagai berikut [5]:

$$\mathbf{H}^H \mathbf{H} \leq R_{SD}^2 \quad (2.8)$$

$$\begin{bmatrix} ? & & & \\ ? & ? & & \\ & ? & ? & \\ & & ? & ? \end{bmatrix} \leq R_{SD}^2 \quad (2.9)$$

Menggunakan persamaan (2.9) maka kita dapat menjelaskan metode SD secara lebih detail sebagai berikut :

Tahap 1 : Berdasarkan persamaan (2.9), pertama yang perlu kita pertimbangkan adalah kita mendapatkan nilai kandidat pertama untuk λ di dimensi pertama dari persamaan radius λ . Persamaan ini dapat juga ditulis sebagai berikut [5] :

$$\lambda \leq \frac{R_{SD}^2}{\mathbf{H}_{11}^H \mathbf{H}_{11}} \quad (2.10)$$

Misal dinotasikan λ_1 yang telah didapat dari Tahap 1. Jika tidak ditemukan titik kandidat yang memuaskan pada ketidaksetaraan tersebut, maka radius butuh diperbesar. Kita asumsikan bahwa ada sebuah nilai kandidat telah didapat, maka kita melanjutkan ke Tahap 2.

Tahap 2 : Berdasarkan persamaan (2.9) lagi, sebuah nilai kandidat untuk λ dipilih dari persamaan radius [5] :

$$\lambda \leq \frac{R_{SD}^2}{\mathbf{H}_{11}^H \mathbf{H}_{11} + \mathbf{H}_{21}^H \mathbf{H}_{21}} \quad (2.11)$$

$$\text{yang setara dengan persamaan } \lambda \leq \frac{R_{SD}^2}{\mathbf{H}_{11}^H \mathbf{H}_{11} + \mathbf{H}_{21}^H \mathbf{H}_{21}} \quad (2.12)$$

Perlu dicatat bahwa λ_1 pada persamaan (2.12) merupakan hasil yang didapat dari Tahap 1. Jika nilai kandidat untuk λ tidak ada maka kita kembali ke Tahap 1 dan memilih nilai kandidat λ yang lain, lalu dilakukan

pencarian untuk θ yang memenuhi ketidaksetaraan pada persamaan (2.12) dari nilai kandidat θ yang lain tersebut. Dalam kasus tidak ada nilai kandidat θ yang dijumpai untuk semua kemungkinan nilai dari θ , maka akan ditambah lingkup radiusnya (R) dan mengulang lagi Tahap 1. Biarkan θ dan R menunjukkan titik akhir yang terpilih dari Tahap 1 dan Tahap 2 secara berurutan.

Tahap 3 : Setelah mendapat nilai θ dan R , sebuah kandidat nilai untuk θ didapat dari beberapa titik dari persamaan radius [5] :

$$\theta = \theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5, \theta_6, \theta_7, \theta_8, \theta_9, \theta_{10}, \theta_{11}, \theta_{12}, \theta_{13}, \theta_{14}, \theta_{15}, \theta_{16}, \theta_{17}, \theta_{18}, \theta_{19}, \theta_{20}, \theta_{21}, \theta_{22}, \theta_{23}, \theta_{24}, \theta_{25}, \theta_{26}, \theta_{27}, \theta_{28}, \theta_{29}, \theta_{30}, \theta_{31}, \theta_{32}, \theta_{33}, \theta_{34}, \theta_{35}, \theta_{36}, \theta_{37}, \theta_{38}, \theta_{39}, \theta_{40}, \theta_{41}, \theta_{42}, \theta_{43}, \theta_{44}, \theta_{45}, \theta_{46}, \theta_{47}, \theta_{48}, \theta_{49}, \theta_{50}, \theta_{51}, \theta_{52}, \theta_{53}, \theta_{54}, \theta_{55}, \theta_{56}, \theta_{57}, \theta_{58}, \theta_{59}, \theta_{60}, \theta_{61}, \theta_{62}, \theta_{63}, \theta_{64}, \theta_{65}, \theta_{66}, \theta_{67}, \theta_{68}, \theta_{69}, \theta_{70}, \theta_{71}, \theta_{72}, \theta_{73}, \theta_{74}, \theta_{75}, \theta_{76}, \theta_{77}, \theta_{78}, \theta_{79}, \theta_{80}, \theta_{81}, \theta_{82}, \theta_{83}, \theta_{84}, \theta_{85}, \theta_{86}, \theta_{87}, \theta_{88}, \theta_{89}, \theta_{90}, \theta_{91}, \theta_{92}, \theta_{93}, \theta_{94}, \theta_{95}, \theta_{96}, \theta_{97}, \theta_{98}, \theta_{99}, \theta_{100} \quad (2.13)$$

Sembarang nilai akan terpilih untuk θ dari dalam lingkup persamaan (2.13). Dalam memilih sebuah titik dari ketidaksetaraan dalam persamaan (2.13) digunakan seperti dalam langkah-langkah sebelumnya. Jika tidak ada nilai kandidat θ yang dijumpai, kita kembali ke Tahap 2 dan memilih nilai kandidat θ yang lain. Dalam kasus tidak ada nilai kandidat untuk θ yang dijumpai setelah mencoba semua kemungkinan nilai untuk θ , kita kembali ke Tahap 1 dan memilih nilai kandidat θ yang lain. Titik akhir yang terpilih dari Tahap 1 sampai Tahap 3 dinotasikan sebagai θ , R , dan θ secara berurutan.

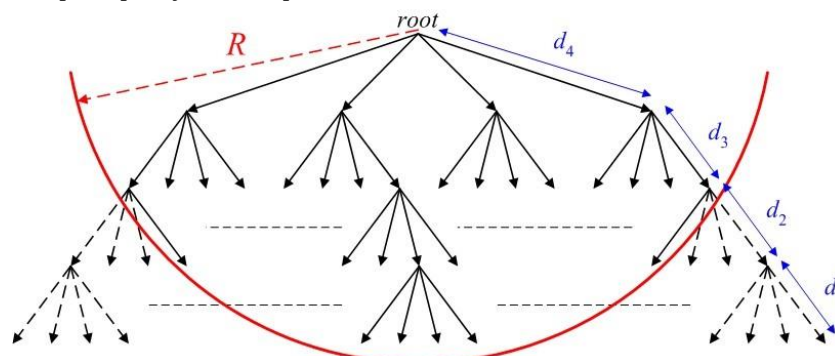
Tahap 4 : Sekarang sebuah nilai kandidat θ didapat dari beberapa titik dalam lingkup [5]:

$$\theta = \theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5, \theta_6, \theta_7, \theta_8, \theta_9, \theta_{10}, \theta_{11}, \theta_{12}, \theta_{13}, \theta_{14}, \theta_{15}, \theta_{16}, \theta_{17}, \theta_{18}, \theta_{19}, \theta_{20}, \theta_{21}, \theta_{22}, \theta_{23}, \theta_{24}, \theta_{25}, \theta_{26}, \theta_{27}, \theta_{28}, \theta_{29}, \theta_{30}, \theta_{31}, \theta_{32}, \theta_{33}, \theta_{34}, \theta_{35}, \theta_{36}, \theta_{37}, \theta_{38}, \theta_{39}, \theta_{40}, \theta_{41}, \theta_{42}, \theta_{43}, \theta_{44}, \theta_{45}, \theta_{46}, \theta_{47}, \theta_{48}, \theta_{49}, \theta_{50}, \theta_{51}, \theta_{52}, \theta_{53}, \theta_{54}, \theta_{55}, \theta_{56}, \theta_{57}, \theta_{58}, \theta_{59}, \theta_{60}, \theta_{61}, \theta_{62}, \theta_{63}, \theta_{64}, \theta_{65}, \theta_{66}, \theta_{67}, \theta_{68}, \theta_{69}, \theta_{70}, \theta_{71}, \theta_{72}, \theta_{73}, \theta_{74}, \theta_{75}, \theta_{76}, \theta_{77}, \theta_{78}, \theta_{79}, \theta_{80}, \theta_{81}, \theta_{82}, \theta_{83}, \theta_{84}, \theta_{85}, \theta_{86}, \theta_{87}, \theta_{88}, \theta_{89}, \theta_{90}, \theta_{91}, \theta_{92}, \theta_{93}, \theta_{94}, \theta_{95}, \theta_{96}, \theta_{97}, \theta_{98}, \theta_{99}, \theta_{100} \quad (2.14)$$

Sembarang nilai yang memuaskan akan terpilih dari persamaan (2.14) yaitu terpilih sebagai nilai θ . Jika tidak ada nilai kandidat untuk θ yang dijumpai, kita kembali ke Tahap 3 untuk memilih nilai kandidat θ yang lain. Dalam kasus tidak ada nilai kandidat θ yang dijumpai setelah dicoba semua kemungkinan nilai kandidat untuk θ , kita kembali ke Tahap 2 dan memilih nilai yang lain dari θ . Anggap θ menunjukkan nilai dari kandidat θ . Sekali lagi kita mencari semua nilai kandidat θ , θ , θ , dan θ , maka radius yang sesuai dihitung menggunakan persamaan (2.14). Gunakan radius yang baru, ulangi Tahap 1. Jika [] ternyata satu titik dalam lingkup radius yang baru itu, maka ia dinyatakan sebagai vektor solusi ML dan prosedur pencarian berhenti.

2.3 PRINSIP KERJA SPHERE DETECTOR

Berikut adalah prinsip kerja sistem *sphere detector* :



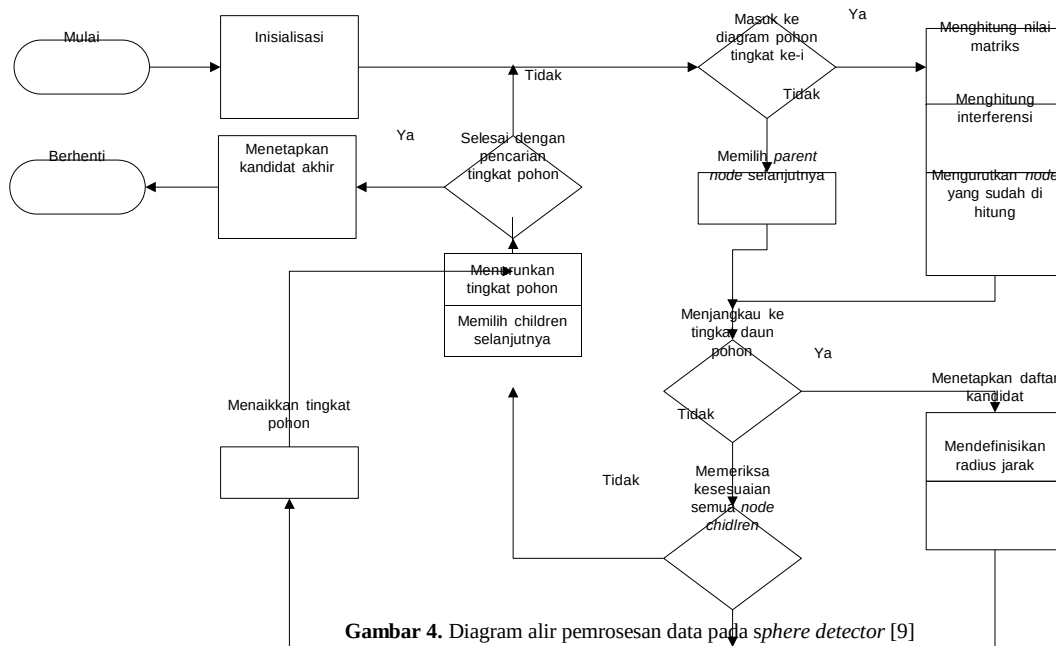
Gambar 5. Struktur pohon dan batasan radius [4]

Ide utama dari *sphere detector* adalah untuk mengurangi kompleksitas komputasi deteksi dari pendeteksian ML dengan hanya mencari sinyal yang diterima yang *noiseless* yang terletak dalam *hypersphere* radius R di sinyal yang diterima. Algoritma ini di implementasikan sebagai *depth first tree search* atau pencarian mendalam pohon pertama, dimana setiap tingkat dalam pencarian merepresentasikan satu sinyal antenna pengirim. Hal ini diilustrasikan pada gambar 5. Sehingga jika pada tingkat tertentu cabang yang diberikan melebihi kendala radius maka bagian pohon dapat dihapus dari pertimbangan lebih lanjut. Kondisi sulit untuk memperkirakan berapa banyak pohon yang harus dicari terlebih dahulu bergantung pada *noise* dan kondisi kanal.

2.4 DIAGRAM ALUR PROSES DATA SPHERE DETECTOR

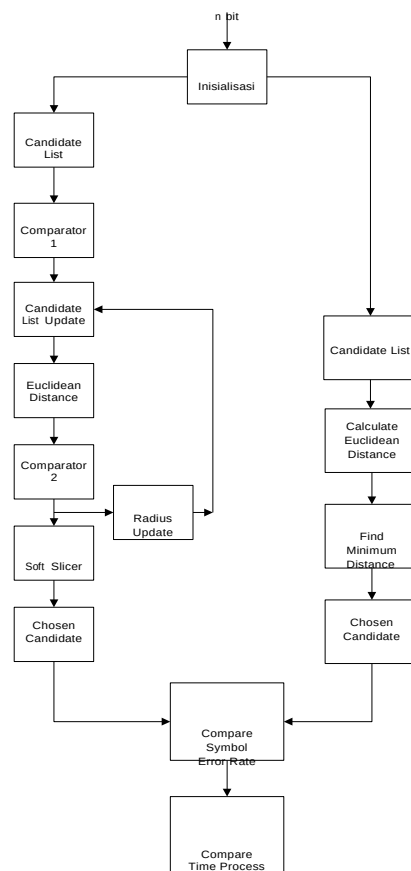
Pada bagian ini akan dijelaskan tentang alur pemrosesan data pada pemodelan *sphere detector*. Dimulai dengan blok inisialisasi. Pada blok inisialisasi terdapat beberapa *input* yang akan diperlukan untuk menjalankan simulasi sistem *sphere detector* ini, yaitu bentuk modulasi yang dipakai (16 QAM dan 64 QAM), jumlah bit (untuk 16 QAM : 1280, 12800, 128000 dan 1280000 bit; dan untuk 64 QAM : 1920, 19200, 192000 dan 1920000 bit) dan banyaknya antenna pada sisi pengirim dan penerima yaitu 2 antenna pengirim dan 2 antenna penerima. Selanjutnya data *input* tersebut diproses di blok inisialisasi yang mempunyai beberapa fungsi seperti decoder dan demodulasi. Selanjutnya menghitung jumlah matriks dan menghitung besarnya interferensi. Proses berikutnya adalah mengurutkan node yang sudah di hitung lalu mendefinisikan jarak radius dan menetapkan daftar kandidat. Jika terdapat kandidat akhir yang berada di dalam radius maka proses pencarian berhenti, jika tidak maka proses pencarian akan berlanjut dengan menambah atau mengurangi jangkauan radius dan menentukan *node* selanjutnya

yang akan diproses untuk diperiksa. Berikut adalah diagram alir dari pemrosesan data secara garis besar pada *sphere detector* yang telah di program yang diadaptasi dari [9] :



Gambar 4. Diagram alir pemrosesan data pada *sphere detector* [9]

2.4 DIAGRAM ALIR SIMULASI



Gambar 5. Diagram alir simulasi

3. SIMULASI

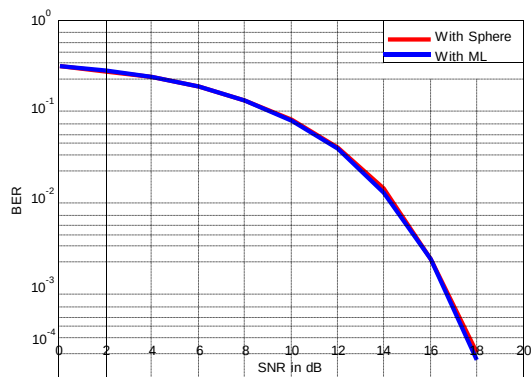
Simulasi menggunakan MATLAB R2011b dari penerapan *sphere detection* yang di gunakan pada skema yang telah dibuat. Simulasi dilakukan untuk memperlihatkan kualitas *sphere detector* dibandingkan dengan *maximum likelihood detection* serta menggunakan jumlah bit dan bentuk modulasi yang bervariasi.

3.1. HASIL SIMULASI

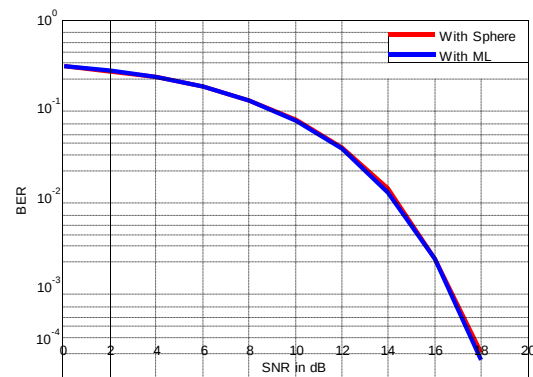
Pada proses simulasi penulis melakukan pengujian dengan diubah jumlah bit dan bentuk modulasi yang dapat mempengaruhi performansi sistem yaitu:

1. Skenario 1 dengan 2 antena pengirim dan penerima, jumlah bit 1280 dan menggunakan modulasi 16 QAM
2. Skenario 2 dengan 2 antena pengirim dan penerima, jumlah bit 12800 dan menggunakan modulasi 16 QAM
3. Skenario 3 dengan 2 antena pengirim dan penerima, jumlah bit 128000 dan menggunakan modulasi 16 QAM
4. Skenario 4 dengan antena pengirim dan penerima, jumlah bit 1280000 dan menggunakan modulasi 16 QAM
5. Skenario 5 dengan antena pengirim dan penerima, jumlah bit 1920 dan menggunakan modulasi 64 QAM
6. Skenario 6 dengan antena pengirim dan penerima, jumlah bit 19200 dan menggunakan modulasi 64 QAM
7. Skenario 7 dengan antena pengirim dan penerima, jumlah bit 192000 dan menggunakan modulasi 64 QAM
8. Skenario 8 dengan antena pengirim dan penerima, jumlah bit 1920000 dan menggunakan modulasi 64 QAM

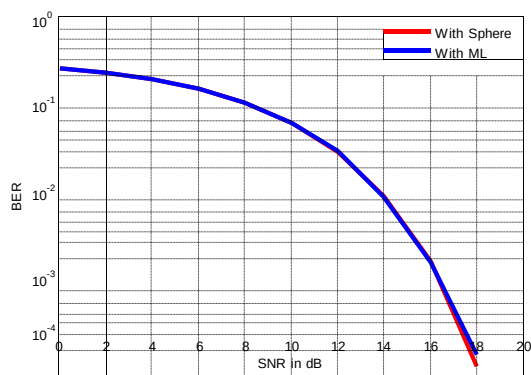
Berikut adalah kurva hasil dari simulasi berdasarkan skenario diatas yang dijalankan pada program MATLAB R2011b :



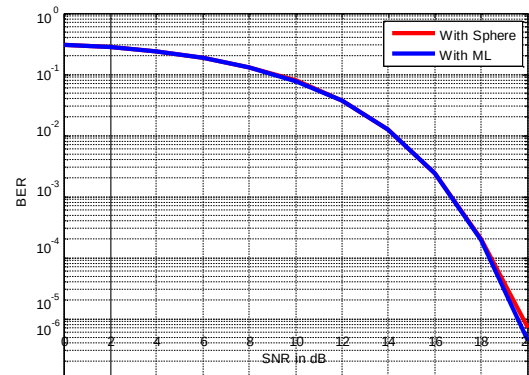
Gambar 6. perbandingan performansi BER dari SD dan ML skenario 1



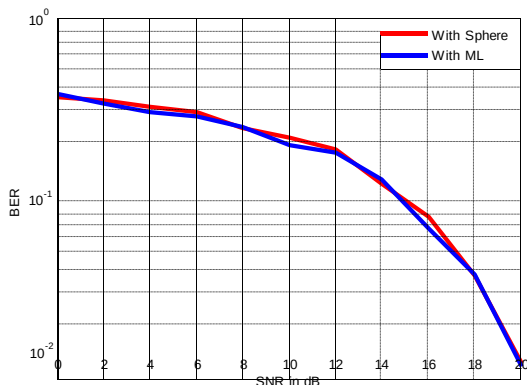
Gambar 7. perbandingan performansi BER dari SD dan ML skenario 2



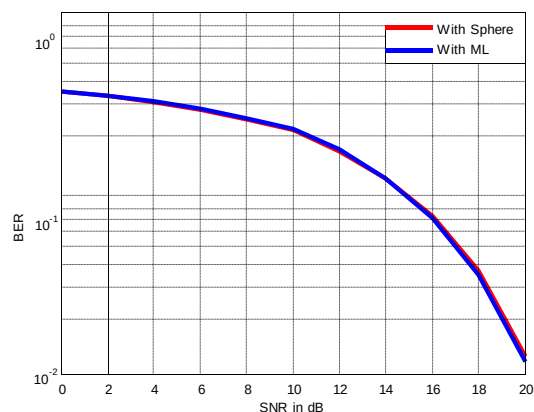
Gambar 8. perbandingan performansi BER dari SD dan ML skenario 3



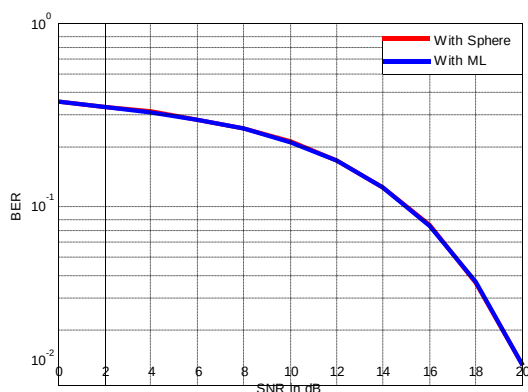
Gambar 9. perbandingan performansi BER dari SD dan ML skenario 4



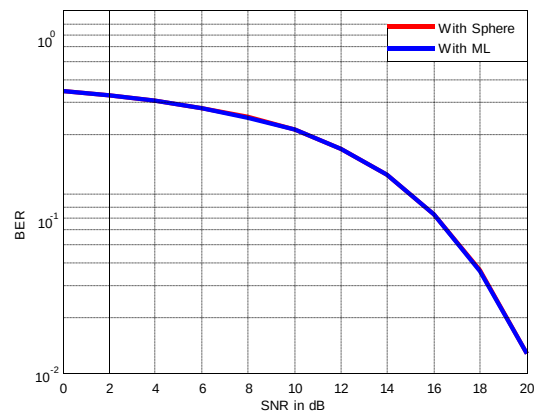
Gambar 10. perbandingan performansi BER dari SD dan ML skenario 5



Gambar 11. perbandingan performansi BER dari SD dan ML skenario 6



Gambar 12. perbandingan performansi BER dari SD dan ML skenario 7



Gambar 13. perbandingan performansi BER dari SD dan ML skenario 8

3.2. ANALISIS SISTEM

Pada bagian ini akan ditunjukkan analisis pengaruh jumlah bit dengan waktu pemrosesan data pada *sphere detector* maupun *maximum likelihood detector*. Jumlah bit yang menjadi *input* di sesuaikan dengan bentuk modulasi. Untuk modulasi 16 QAM, jumlah bit adalah yang kelipatan 4 bit, karena pada 16 QAM 4 bit mewakili 1 simbol. Sedangkan untuk modulasi 64 QAM, jumlah bit adalah yang kelipatan 6 bit, karena pada 64 QAM 6 bit mewakili 1 simbol.

Skenario	Modulasi	Jumlah bit	Waktu Proses Data (detik)	
			SD	ML
1	16QAM	1280	1.7368	0.91045
2		12800	17.4314	9.0787
3		128000	174.309	90.5973
4		1280000	1735.9068	906.8405
5	64QAM	1920	9.3976	48.5175
6		19200	91.5119	456.0715
7		192000	882.3706	4909.5247
8		1920000	10572.7508	31607.239

Tabel 1. Tabel Perbandingan waktu proses data

Pada tabel 1 terlihat bahwa pada waktu pemrosesan data saat menggunakan modulasi 16 QAM, deteksi SD tidak berbeda jauh dengan waktu proses deteksi ML. Sedangkan pada waktu pemrosesan data menggunakan 64 QAM, deteksi SD jauh lebih cepat dibandingkan dengan deteksi ML dimana deteksi SD hampir 5x lebih cepat dibandingkan deteksi ML.

Dapat dilihat dari gambar 6 – 13 bahwa performansi deteksi SD hampir sama dengan deteksi ML. Kita akan ambil 2 contoh. Contoh pertama untuk BER dengan 10^{-1} pada gambar 9, SNR akan bernilai sama untuk SD dan untuk ML yaitu bernilai 9 dB. Contoh kedua untuk BER 10^{-1} pada gambar 13, SNR akan bernilai sama untuk SD dan untuk ML yaitu bernilai 14.94 dB.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa :

1. Kualitas BER *sphere detector* dibandingkan dengan *maximum likelihood detector* hampir sama mendekati 100%.
2. Waktu pemrosesan data pada *sphere detector* cenderung lebih cepat dibandingkan dengan *maximum likelihood detector* pada modulasi orde tinggi.

4.2 Saran

Berdasarkan hasil evaluasi dari analisis sistem, maka saran yang dapat dipertimbangkan untuk pengembangan Tugas Akhir bertopik sejenis ke depannya sebagai berikut :

1. Untuk pengembangan selanjutnya dapat menggunakan jumlah antenna yang bermacam-macam dan berbeda pada sisi pengirim dan atau pada sisi penerima karena akan mengubah blok estimasi kanalnya.
2. Untuk pengembangan selanjutnya nilai awal radius pencarian dapat diperbaiki dengan formulasi *sphere detector* yang lain.
3. Untuk pengembangan selanjutnya dapat menggunakan bentuk modulasi orde yang lebih tinggi.

Daftar Pustaka

- [1] Mehmood, Asad and Cheema, Waqas Aslam, "Channel Estimation For LTE Downlink". Thesis, Blekinge Institute of Technology, Swedia, 2009.
- [2] Gohar, Nasir D; Rafique, Zimran, "V-BLAST : A Space-Division Multiplexing Technique Providing a Spectral Efficiency Necessary for High Data Rate Wireless Network", Ghulam Ishaq Khan Institute of Engineering Sciences, Pakistan, 2003.
- [3] Dick, Chris; Trajkovic, Milos; Denic, Slobodan; Vuletic, Dragan; Rao, Raghu; Harris, Fred; Amiri, Kiarash, "FPGA Implementation of a Near-ML Sphere Detector for 802.16e Broadband Wireless Systems", Proceedings of the SDR '09 Technical Conference and Product Exposition, USA, 2009.
- [4] Mathana, J.M; Rekha, P; Sai Anitha, V; Suchitra, B; Bavithra, K.B, "VLSI Architecture of MIMO Detector Using Fixed Complexity Sphere Decoding", Pak Publishing Group, India, 2014.
- [5] Cho, Yong Soo; Kim, Jaekwon; Yang, Won Young; Kang, Chung-Gu, "MIMO-OFDM Wireless Communications with MATLAB", John Wiley & Sons, Singapore, 2010
- [6] Lajos Hanzo, Yusef Akhtman, Li Wang, Ming Jiang, "MIMO-OFDM for LTE, WiFi and WiMAX Coherent Versus Non-Coherent and Cooperative Turbo-Transceivers", John Wiley & Sons, United Kingdom, 2011
- [7] Van Nee, Richard; Prasad Ramjee, "OFDM for Wireless Multimedia Communications", Artech House, London, 2000
- [8] Mennenga, Bjorn; Rave, Wolfgang; Fettweis, Gerhard, "On the Complexity of Sphere Decoding", Germany
- [9] Mennenga, Bjorn; Matus, Emil; Fettweis, Gerhard, "Vectorization of the Sphere Detection Algorithm", Germany
- [10] Amiri, Kiarash; Dick, Chris; Rao, Raghu; Cavallaro, Joseph R, "Novel Sort-Free Detector with Modified Real-Valued Decomposition (M-RVD) ordering in MIMO systems", 2008
- [11] Yanovsky, Igor, "QR Decomposition with Gram-Schmidt", University of California, Los Angeles