

# ANALISIS KAPASITAS KANAL TERHADAP JUMLAH ANTENA PADA SISTEM MIMO (MULTIPLE INPUT MULTIPLE OUTPUT)

**Candra Ahmadi**  
STIKOM Bali

Jln. Raya Puputan no.86 Renon Denpasar  
[yuni@stikom-bali.ac.id](mailto:yuni@stikom-bali.ac.id)

## **Abstrak**

*MIMO adalah singkatan dari Multiple Input Multiple Output. Teknologi ini diperkenalkan kali pertama oleh seorang ahli dari Bell Laboratories pada tahun 1984. Dengan teknologi MIMO, sebuah receiver atau transmitter menggunakan lebih dari satu antena, tujuannya adalah untuk menjadikan sinyal pantulan sebagai penguat sinyal utama sehingga tidak saling menggagalkan. MIMO juga memiliki kelemahan, yaitu adanya waktu interval yang menyebabkan adanya sedikit delay pada antena saat mengirimkan sinyal, meskipun pengiriman sinyalnya sendiri lebih cepat. Waktu interval ini terjadi karena adanya proses dimana sistem harus membagi sinyal mengikuti jumlah antena yang dimiliki oleh perangkat MIMO yang jumlahnya lebih dari satu. Dalam sistemnya, MIMO tidak hanya menggunakan satu antena tetapi menggunakan dua atau lebih banyak (jamak) baik pada pemancar maupun penerimanya. Dengan menggunakan antena jamak tersebut mengakibatkan kinerja menjadi lebih baik, hal tersebut dapat dibandingkan dengan sistem Singel Input Singel Output (SISO). Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai rekomendasi untuk peningkatan efektivitas layanan dan keunggulan layanan komunikasi data dan seluler. Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini diadaptasi dari kerangka berpikir metodologi penelitian sistem informasi yaitu dimulai dari tahap eksplorasi konsep, analisis, pengumpulan dan analisis data serta penarikan kesimpulan. Hasil penelitian maka didapatkan bahwa semakin banyak antena maka kapasitas sistem akan semakin besar pula.*

**Kata kunci**— Kapasitas Sistem, Jumlah Antena, MIMO

## **Abstract**

*MIMO stands for Multiple Input Multiple Output. This technology was introduced first by an expert from Bell Laboratories in 1984. With MIMO technology, a receiver or a transmitter uses more than one antenna; the goal is to make the reflected signal as the main signal amplifier so it does not frustrate each other. MIMO also have the drawback, that is the interval of time which caused a slight delay when sending a signal to the antenna, although the signal itself faster delivery. This time interval is due to the process by which the system must split the signal to follow the number of antennas owned by MIMO devices of more than one. In the system, not just use a MIMO antenna but using two or more of (plural) both at the transmitter and receiver. By using multiple antennas that results in better performance, it can be compared to the single input single output system (SISO) . The results of this study can be used as recommendations for improving the effectiveness of service and excellence services and mobile data communications. The method used in this study was adapted from the frame of information systems research methodology that starts from the stage of concept exploration, analysis, collection and analysis of data and drawing conclusions. The results of the study showed that the more antennas the capacity of the system will be greater.*

**Keywords**— Capacity System, Total Antenna, MIMO

---

## 1. PENDAHULUAN

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. Performansi MIMO sendiri dipengaruhi oleh kombinasi jumlah antenna pada pengirim dan penerima dan juga metode/algorithm deteksi MIMO-nya.

Untuk bagian atas pada sistem mimo merupakan kanal sedangkan pada bagian bawah merupakan bagian signal processing dan coding. Komponen RF berada pada kanal karena mempengaruhi transfer function end-to-end (TF end-to-end). Dalam sistem ini, data  $Q$  dinyatakan dengan symbol vektor  $b(n)$  ( $n$  adalah indeks waktu) yang diencode kedalam kode  $x(n)$  yang berupa baseband kompleks diskrit time sebanyak dan data dalam bentuk discrete kompleks pada sisi pemancar. Bagian Coding mendistribusikan data tersebut (simbol) ke block pulse shaping. Block ini berfungsi untuk mengkonversi data sample time discrete menjadi sinyal kontinue dalam bentuk  $(\omega x)$ , dimana  $\omega$  adalah frekuensi, selanjutnya akan disalurkan ke input dari kanal (pada bagian RF chain dan antenna). Kanal  $H(\omega)$  menggabungkan sinyal input untuk memperoleh elemen output pada sistem penerima vektor sinyal  $r(n)$ . Filter yang sesuai kemudian memproduksi sample data dalam waktu discrete, dan selanjutnya space atau time decoder membangkitkan data kembali dalam domain waktu ke sisi penerima, Untuk kanal linier hubungan antara input dan output kanal sistem mimo ditulis dengan persamaan.

Sistem Distributed Multiple Input Multiple Output (D-MIMO) atau yang dapat disebut dengan sistem mimo terdistribusi merupakan system komunikasi yang menggunakan beberapa antenna pada satu sisi (dalam hal ini sisi pemancar) secara terdistribusi diantara port-port yang terpisah secara lebar. Dimana setiap port yang ada saling mengirimkan informasi ke satu penerima dengan cara tertentu. Perbedaan utama antara sistem D-MIMO dan C MIMO adalah terletak pada banyaknya antenna yang berada pada satu sisi (pada kasus ini pada sisi pemancar) yang letaknya terdistribusi diantara portport yang terpisah secara lebar (multiple widely separated radio ports) dan fading yang terjadi berupa fading skala kecil dan besar akan diukur pada masing-masing link antara port-port radio tersebut.

Pada model kanal realitas, kanal berada pada lingkungan penuh dengan scattering. Faktor penting yang mempengaruhi kapasitas sistem mimo adalah jumlah kondisi kanal  $k$  dengan nilai  $k$  yang tergantung pada perbandingannya. Untuk mimo konvensional atau di kenal sebagai colocated mimo atau C MIMO terdapat beberapa kasus khusus yang terjadi yaitu:

Kanal C MIMO ideal. Ketika fading tidak berkorelasi pada kedua sisi pemancar dan penerima, hal tersebut terdapat sejumlah jalur independent antar keduanya, dengan teori central limit matriks kanal yang mempunyai tipe full rank dan dalam keadaan baik.

Korelasi fading. Ketika fading berkorelasi pada kedua sisi yang berkaitan dengan ketidak sesuaian scattering, jarak antenna atau sebaran sudut, tetapi masih dalam keadaan kanal matriks di atas menjadi kurang sempurna.

Dengan mengetahui sistem MIMO ini maka nantinya akan dapat dijadikan sebagai rekomendasi untuk peningkatan efektivitas layanan dan keunggulan layanan komunikasi data dan seluler. Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini diadaptasi dari kerangka berpikir metodologi penelitian sistem informasi yaitu dimulai dari tahap eksplorasi konsep, analisis, pengumpulan dan analisis data serta penarikan kesimpulan.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 OFDMA

Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) adalah suatu sistem transmisi dengan memberikan sekelompok subcarrier (dalam frekuensi) pada user yang berbeda. Dengan sistem ini, lebih dari satu user dapat dilayani dalam waktu yang bersamaan. Teknik ini

---

digunakan untuk mengatasi frequency-selective fading, dan mendukung high data rate. Setiap subcarrier hanya dapat oleh ditempati oleh user yang berbeda untuk menyediakan akses multiuser yang fleksibel. Adanya alokasi subcarrier untuk user yang berbeda, menyebabkan sistem OFDMA ini dapat digunakan untuk melayani lebih banyak user dari pada menggunakan teknik konvensional.

Salah satu keuntungan dari sistem OFDMA adalah karakteristik kanal untuk user yang berbeda hampir tidak bergantung satu dengan lainnya. Sehingga saat kapasitas kanal rendah beberapa subcarrier ini dapat mengalami fading. User yang terkena fading belum tentu mengakibatkan user lain juga terkena fading (multiuser diversity). Sehingga dengan sistem OFDMA dapat digunakan untuk mengalokasikan sumber daya yang optimal.

Penggunaan sistem OFDMA masih dapat ditingkatkan dengan memaksimalkan availability capacity atau kapasitas yang tersedia. Hal ini dapat dilakukan dengan melakukan optimasi pada pengalokasian sumber daya yang ada yang diberikan kepada user yaitu subcarrier dan daya, sehingga laju transmisi menjadi lebih besar. Skema OFDMA downlink pada transmitter, receiver dan central controller

Central Controller adalah tempat pengalokasian sumber daya yang ada. Sumber daya yang dialokasikan yaitu subcarrier dan daya dengan mempertimbangkan delay pada sistem. Bentuk sederhana dari central controller dapat dilihat pada gambar 2.3. Pada gambar tersebut terdapat arsitektur alokasi sumber daya pada OFDMA downlink melewati kanal multiple yang di tempati bersama-sama untuk user yang berbeda (multiuser). OFDMA menyediakan kanal multiple dimana bandwidth (B) akan dibagi sebesar banyaknya subcarrier (K), sehingga setiap subcarrier memiliki lebar bandwidth sebesar  $B / K$

Dalam pensinyalan OFDMA menggunakan fungsi waktu/time-slot dan panjang masing-masing timeslot adalah  $T_s$ . Base station secara terus menerus akan melayani M user berdasarkan antrian yang disimbolkan  $Q1[n]r1[n]$ . Dimana resource allocator membuat penugasan subcarrier satu kali tiap slot berdasarkan kualitas masing-masing kanal dan panjang antrian.

Channel State Information (CSI) yang berisi informasi dari user berupa kebutuhan QoS (Quality of Service) atau delay diperkirakan oleh penerima dan ditransmisikan menuju penerima via kanal control yang terpisah. CSI diasumsikan tidak terjadi error dalam mengestimasiya atau sempurna

Queue State Information (QSI) berisi informasi jumlah paket user yang berada di buffer. Informasi ini sangatlah penting karena jika tidak memperhatikan QSI maka banyak paket yang akan loss.

Setelah mendapatkan informasi berupa CSI dan QSI maka selanjutnya akan dilakukan penentuan dalam melakukan pengalokasian sumber daya berdasarkan informasi ini. Selanjutnya, hasilnya yaitu skema pengalokasian sumber daya tersebut diberikan pada pemancar OFDMA

Dengan menggunakan CSI, pemancar mengkombinasikan algoritma alokasi subcarrier dan daya untuk menetapkan subcarrier yang berbeda pada user yang berbeda pula dan jumlah bit atau simbol OFDM yang ditransmisikan pada tiap subcarrier. Hasil modulasiya, berupa simbol kompleks, ditransformasi dalam sampel dengan time domain menggunakan Inverse Fast Fourier Transform (IFFT). Guard interval disisipkan untuk memastikan ortogonalitas dari subcarrier. ISI (Intersymbol Interference) dapat terjadi akibat sinyal yang memantul akibat halangan selama melakukan transmisi LOS (Line of Sight) dimana sinyal tersebut menginterferensi sinyal LOS sehingga dapat mengurangi performansi jaringan. Hal ini dapat dieliminasi karena waktu penyebaran dari kanal yang lebih pendek dari durasi guard interval. Sinyal ditransmisikan melalui kanal dengan frekuensi yang berbeda beda menuju user yang berbeda beda pula.

User sebagai penerima sinyal yang transmisikan. Sinyal yang diterima harus didemodulasikan terlebih dahulu. Langkah langkahnya yaitu guard interval dihilangkan untuk mengeliminasi ISI dan sampel dalam time dari user ditransformasikan oleh blok FFT menjadi

---

simbol yang dimodulasi. Informasi alokasi daya digunakan untuk melakukan pengaturan dalam demodulator sedangkan informasi alokasi subcarrier digunakan untuk melakukan ekstrak sehingga mendapatkan bit yang didemodulasikan dari subcarrier yang diberikan pada user.

## 2.2 Signal To Noise Ratio

Signal to noise ratio adalah parameter yang menyatakan rasio daya sinyal yang diterima dibandingkan dengan daya noise pada penerima. SNR pada sistem dicari dengan melakukan perhitungan terhadap redaman ruang bebas

Dalam kaitannya dengan penyebaran, propagasi gelombang radio melalui suatu medium seperti atmosfer bumi mengalami redaman daya. Pada propagasi ruang bebas tidak terjadi interaksi dengan gelombang radio selama pengiriman gelombang menuju antenna penerima, redaman daya meningkat sebagai fungsi kuadrat dari jarak propagasi yang dapat di lihat melalui persamaan berikut :

$$\frac{P_r}{P_t} = \left( \frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2 g_t g_r \quad (2.1)$$

Dengan :

- $P_t$  = Daya yang dipancarkan
- $P_r$  = Daya yang di terima
- $r$  = Jarak
- $\lambda$  = Panjang Gelombang
- $g_t$  = Gain antenna pengirim
- $g_r$  = Gain antenna penerima

Persamaan redaman daya dalam dBi dapat di tulis sebagai berikut:

$$10 \log \text{Error! Reference source not found.} = 10 \log \text{Error! Reference source not found.} \quad (2.2)$$

Pada kondisi *clear sky* atau kondisi yang berpengaruh pada kondisi selama propagasi ruang bebas, availability merupakan fungsi panjang link yang dihitung melalui link budget sesuai skenario yang ditentukan. Maka, *Signal to Noise Ratio* (SNR) dengan kondisi *clear sky* menggunakan parameter link budget yang dialami sistem pada ruang bebas. Parameter yang digunakan dalam link budget adalah parameter pada sistem *Local Multipoint Distribution Service* (LMDS).

## 2.3 Multiple Input Multiple Output (MIMO)

Belum lagi tuntas implementasi sistem nirkabel generasi ketiga alias 3G, termasuk di Indonesia, orang sudah mulai memikirkan generasi berikutnya, yaitu generasi keempat (4G). Sistem 4G yang sedang diteliti oleh para pakar di seluruh dunia ini dijanjikan dapat mengirimkan data sampai lebih dari 20 Mbps.

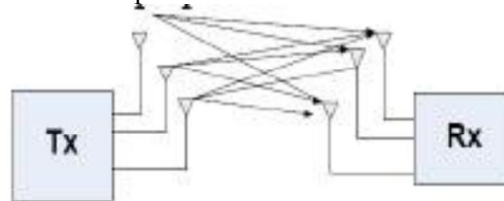
Lingkup istilah 4G tidak hanya memayungi versi nirkabel dari LAN seperti yang dibakukan oleh IEEE dalam standar 802.11 di mana pelanggan berkomunikasi dari notebook atau desktop-nya sambil duduk diam, namun juga meliputi generasi penerus dari sistem komunikasi bergerak 3G. Di sini tampak bahwa fitur yang ditekankan pada sistem 4G adalah pencapaian kapasitas yang tinggi dengan tetap menjaga mobilitas bagi pelanggannya.

Teknologi relatif baru yang kini sedang dipuja-puji berbagai pakar karena kemampuannya meningkatkan secara drastis kapasitas maupun kualitas kanal nirkabel adalah teknologi multi-antena MIMO (multi-input multi-output), di mana baik BTS maupun terminal pelanggan menggunakan lebih dari satu antenna yang bekerja pada frekuensi yang sama.

Sebagai contoh, misalkan pemancar memiliki  $M$  antena, masing-masing mengirimkan sinyal yang berbeda-beda, sedangkan penerima menggunakan  $N$  antena. Semua sinyal dari  $M$  antena pemancar akan sampai pada setiap antena penerima dalam keadaan tercampur baur - efek ini secara matematis dinyatakan dalam respons kanal yang berbentuk matriks berukuran  $NM$ .

Namun, dengan bantuan lintasan propagasi radio yang jamak akibat adanya berbagai obyek penghambur gelombang di sekeliling antena, perangkat penerima dapat didesain untuk mampu memilah-milah sinyal yang berbeda-beda tersebut.

Malah sistem MIMO mampu memanfaatkan keberadaan lintasan jamak ini untuk menciptakan sejumlah kanal ekuivalen yang seolah-olah terpisah satu sama lain. Ini bisa dipandang sebagai suatu mukjizat tersendiri karena pada kondisi normal keberadaan lintasan jamak justru bersifat merugikan sebab menimbulkan fading. Aplikasi MIMO pun kemudian dapat diarahkan untuk mencapai dua tujuan yang berbeda yang diwujudkan dalam dua teknik: multiplex spasial dan pengkodean ruang-waktu. Multiple Input Multiple Output (MIMO) Sistem ini menggunakan sejumlah  $M$  antena pemancar dan sejumlah  $N$  antena penerima untuk dapat mentransmisikan sinyal informasi dari beberapa pengirim ke beberapa penerima **Error! Reference source not found.** Konsep Dasar MIMO.

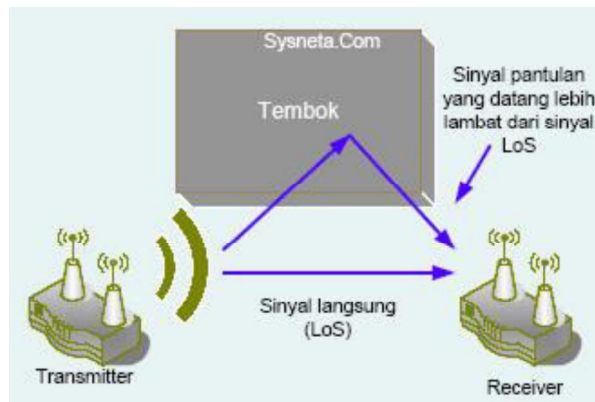


**Gambar 1. Konsep Dasar MIMO**

IEEE 802.11n dibuat berdasarkan standard sebelumnya 802.11 dengan menambahkan Multiple-Input-Multiple-Output (MIMO) dan operasi Channel-bonding / 40 Mhz pada layer Physical, dan agregasi frame pada layer MAC.

MIMO menggunakan beberapa antenna transmitter dan receiver untuk memperbaiki kinerja systemnya. MIMO adalah technology yang menggunakan beberapa antenna untuk secara koheren mengurai lebih banyak informasi dibanding menggunakan satu antenna tunggal. Dua keuntungan penting yang diberikan kepada 802.11n adalah keragaman antenna dan multiplexing spasial.

Teknologi MIMO mengandalkan sinyal-2 dari berbagai arah. Sinyal-2 dari berbagai arah ini adalah pantulan sinyal-2 yang sampai pada antenna penerima beberapa saat setelah transmisi sinyal utama yang satu garis (Line of sight) sampai. Pada jaringan 802.11a/b/g yang bukan MIMO, sinyal-2 dari berbagai arah ini diterima sebagai interferensi yang hanya mengurangi kemampuan penerima untuk mengumpulkan informasi yang ada dalam sinyal. Technology MIMO menggunakan sinyal dari berbagai arah ini untuk menaikkan kemampuan receiver untuk mengurai informasi yang dibawah oleh sinyal ini. dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 2 Teknologi MIMO**

### 2.3.1 Multipleks spasial

Aplikasi pertama diperoleh jika sistem pemancar dan penerima dioperasikan dalam mode yang disebut multipleks spasial (spatial multiplexing) dengan tujuan untuk mencapai kapasitas kanal yang besar. Pada multipleks spasial, aliran data berlaju tinggi dipecah-pecah menjadi sejumlah aliran paralel sesuai dengan jumlah antena pemancar, masing-masing dengan laju yang lebih rendah dari aliran aslinya.

Sebelum masuk ke antena, aliran-aliran data ini dilewatkan pada matriks khusus yang berfungsi menggabung-gabungkan sinyal dari semua aliran dengan kombinasi tertentu untuk dipancarkan melalui setiap antena—suatu proses multipleks yang berlangsung pada dimensi spasial karena setiap kombinasi data paralel ditujukan ke salah satu antena pemancar.

Jika diasumsikan terdapat saluran umpan balik informasi dari penerima ke pemancar, penerima dapat melakukan estimasi respons kanal (dengan training sequence misalnya) dan mengumpanbalikkan informasi ini kepada pemancar. Pemancar kemudian dapat mengetahui bagaimana seharusnya dia menata matriks multipleks agar dapat dicapai kapasitas kanal yang setinggi-tingginya.

Teknik yang pertama kali diusulkan di sini adalah dengan menerapkan operasi dekomposisi nilai singular (singular value decomposition atau SVD) pada matriks respons kanal. Dua matriks unitary, biasa disimbolkan sebagai  $U$  dan  $V$ , yang dihasilkan oleh operasi ini adalah matriks multipleks dan demultipleks yang harus digunakan oleh pemancar dan penerima.

Konfigurasi sistem kemudian menjadi ekuivalen dengan sistem pemancar-penerima yang terhubung melalui sejumlah saluran paralel sebanyak  $M$  atau  $N$ , tergantung mana yang lebih kecil. Sebagai contoh, misalkan  $M$  bernilai lebih kecil dari  $N$ , maka sistem ini seolah-olah memiliki  $M$  saluran yang terpisah satu sama lain untuk membawa  $M$  aliran data yang berbeda, masing-masing dengan laju rata-rata  $1/M$  dari laju aliran data aslinya, padahal seluruh sistem multi-antena ini bekerja pada frekuensi yang sama.

Kesimpulannya jelas, telah terjadi penghematan penggunaan bandwidth sebesar  $1/M$  kali, atau dengan kata lain, terjadi peningkatan kapasitas kanal sebesar  $M$  kali. Bayangkan kondisi ekstremnya, dengan sedikitnya 10 antena pada masing-masing sisi pemancar dan penerima, aliran data sebesar 1 Mbps dapat dikirimkan ke penerima dengan bandwidth sekitar 100 kHz saja apabila digunakan modulasi dengan efisiensi 1 bps/Hz.

Atau dari sudut pandang yang berlawanan, lebar spektrum 100 kHz yang sebelumnya hanya mampu membawa sinyal 100 kbps, sekarang mampu mengangkut data berlaju 1 Mbps dengan menggunakan minimal 10 antena pada setiap sisi.

Kesimpulan yang sangat menggurikan ini diupayakan terealisasi oleh para ahli dengan susah payah. Tantangan utama adalah penyediaan saluran umpan balik dengan estimasi respons kanal yang cepat dan akurat. Implementasi yang lebih realistis, yaitu pada kondisi di mana tidak

ada saluran umpan balik dari penerima ke pemancar, adalah dengan menyalurkan aliran-aliran data berlaju rendah secara apa adanya ke antena pemancar yang bersesuaian.

Kondisi ini sama saja dengan memasang matriks identitas sebagai matriks multipleks pada pemancar. Jika cara ini diterapkan, penerima perlu menggunakan teknik deteksi yang mirip dengan deteksi multi-user pada sistem CDMA untuk dapat memisah-misahkan sinyal dari aliran data yang berbeda yang telah tercampur baur pada setiap antenanya.

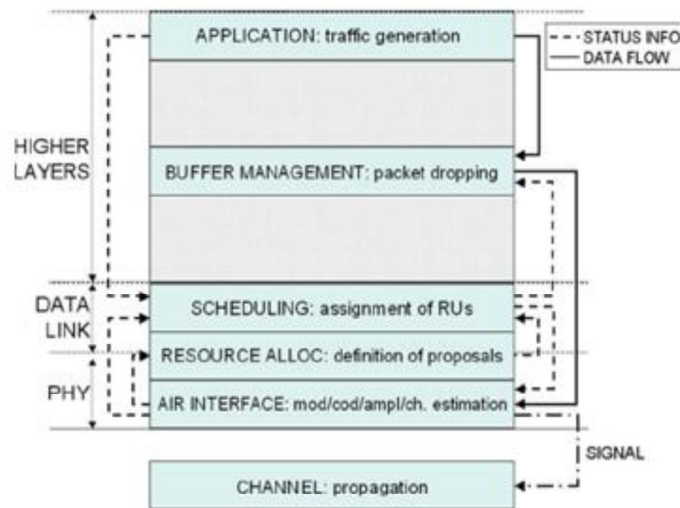
Pada penerima yang berarsitektur BLAST (Bell Labs Layered Space-Time Architecture), digunakan teknik deteksi dengan penghapusan interferensi antar-aliran data secara bergantian yang dimulai dari aliran data dengan kualitas sinyal terbaik, teknik yang biasa disebut successive interference cancellation atau SIC. Arsitektur BLAST adalah sistem deteksi yang pertama kali berhasil diuji coba secara eksperimental pada sistem pemancar-penerima MIMO yang riil.

Jenis aplikasi MIMO yang kedua adalah sistem pengkodean ruang-waktu (space-time coding atau STC). Tujuannya adalah mendapatkan kualitas sinyal setinggi mungkin dengan memanfaatkan teknik diversity pada pemancar dan penerima.

### 2.3.2 Definisi Cross-Layer

Cross-layer muncul karena perlunya pertimbangan beberapa layer (misalnya layer 7 OSI) untuk disolusikan karena keterbatasan masing-masing layer. Misalnya ketika pekerjaan network coding pada suatu Ad-hoc Wireless yang ternyata perlu mempertimbangan physical layer (termasuk juga data-link) yang ada.

Mengingat keterbatasan physical layer (seperti keterbatasan power, transfer rate) mempengaruhi performansi pada network layer sehingga diharapkan optimasi pada physical layer dapat memberikan optimalisasi pada network layer. Oleh karena itu dilakukan pendekatan cross-layer. Medium Acces Control (MAC) layer ini memutuskan prioritas paket yang akan di transmisikan berdasarkan informasi kondisi kanal berdasarkan Channel State Information (CSI). Pendekatan cross-layer untuk mengatur alokasi kapasitas kanal, dapat di lihat pada **Error! Reference source not found.**



**Gambar 3. Hubungan antar layer dan implementasinya**

Berdasarkan gambar 3 ini layer aplikasi akan membangkitkan trafik (video, suara, dan FTP) sehingga didapatkan laju transmisi masing-masing user, kemudian air interface mengirimkan kondisi kanal hujun berdasarkan CSI ke resource allocator untuk mengalokasikan kapasitas kanal berdasarkan laju transmisi  $r_i$  trafik yang heterogen tersebut. Melalui resource

allocator, maka dapat dilakukan pembagian kanal berdasarkan alokasi kapasitas kanal yang ada sehingga didapatkan alokasi kapasitas kanal yang maksimum.

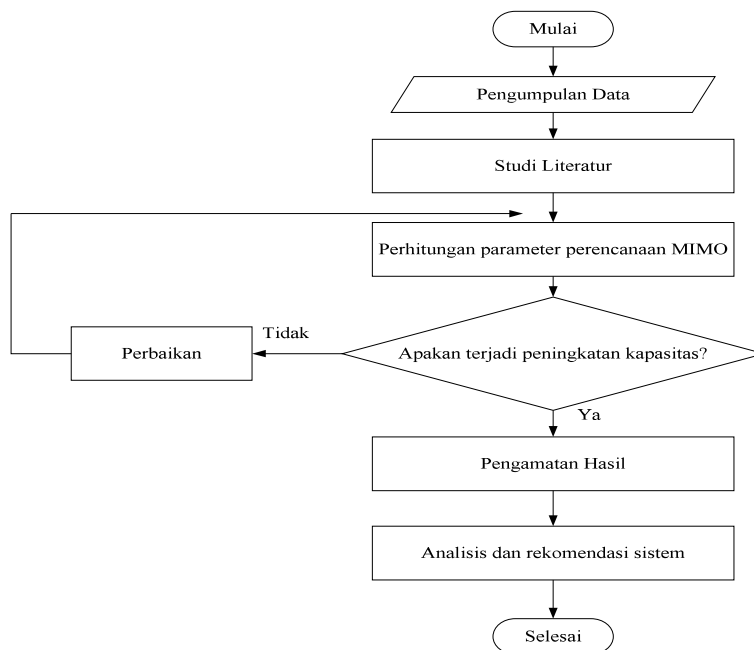
### 2.3.3 Trafik

Trafik dalam bidang telekomunikasi adalah perpindahan informasi dari satu tempat ke tempat lain melalui jaringan telekomunikasi. Besaran dari suatu trafik telekomunikasi diukur dengan satuan waktu. Dua besaran trafik yg sering digunakan untuk analisa antara lain meliputi Kedatangan trafik dan Intensitas trafik. Salah satu tujuan perhitungan trafik adalah untuk mengetahui delay pada jaringan tersebut. Dengan diketahuinya delay pada jaringan itu, maka akan diketahui juga kinerja jaringan (Network Performance) sehingga dapat dilakukannya peningkatan mutu pelayanan jaringan telekomunikasi (Quality of Service). Beberapa besaran trafik diantaranya:

1. Volume trafik  
Jumlah (lamanya) waktu pendudukan (pemakaian) saluran.
2. Intensitas trafik  
Jumlah (lamanya) waktu pendudukan per satuan waktu (waktu pengamatan).
3. Pendudukan  
Jumlah pemakaian saluran. Satu pendudukan ditentukan oleh awal kedatangan panggilan dan akhir panggilan.
4. Holding time  
Rata-rata waktu pendudukan.

### 2.4 Metodologi Penelitian

Metodologi yang ditempuh dalam menyelesaikan penelitian ini meliputi studi literatur dan pembuatan simulasi menggunakan instrumen berupa software Matrix Laboratory (MATLAB). Sedangkan metode analisa yang digunakan adalah analisa komparasi dari perhitungan yang telah dilakukan. Metodologi penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Metodologi penelitian



Penelitian yang dilaksanakan terdiri dari lima tahapan yaitu :

1. Eksplorasi konsep
2. Analisis
3. Pengumpulan dan analisis data
4. Kesimpulan

### **2.5 Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian dilaksanakan selama empat bulan, dimulai dari bulan Februari hingga bulan Mei 2014. Lokasi penelitian adalah di STIKOM Bali.

### **2.6 Data**

#### **2.6.1 Jenis Data**

Jenis data yang digunakan adalah data primer. Data primer yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah hasil simulasi dengan menggunakan program bantu Matlab.

#### **2.6.2 Teknik Pengumpulan Data**

Metode pengumpulan data primer pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan Program bantu Matlab. Program bantu matlab tersebut

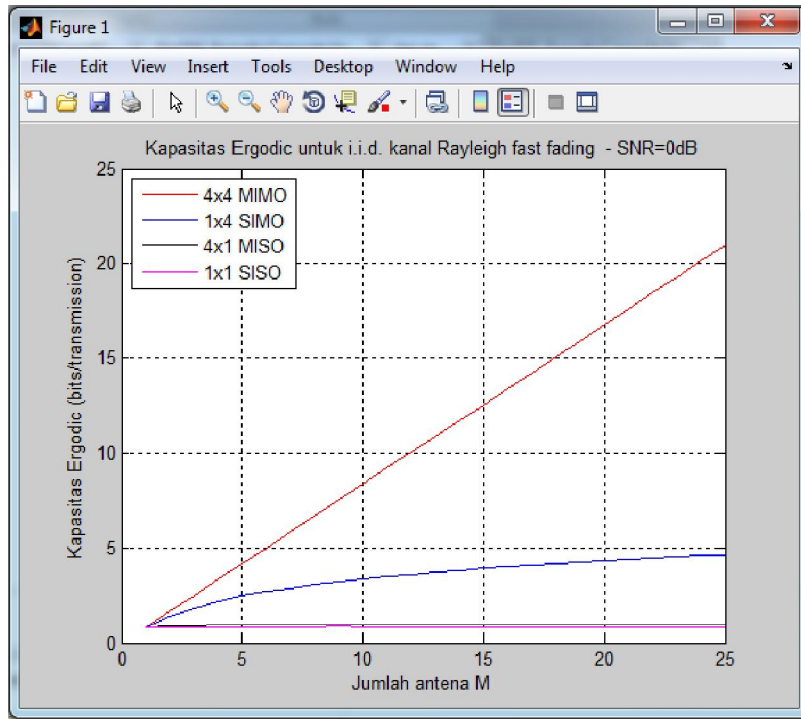
## **3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **3.1 Kapasitas Sistem MIMO**

Perkembangan terbaru dalam teknologi antena array dan pengolahan sinyalnya adalah sistem transmisi yang disebut dengan MIMO (Multiple-Input Multiple-Output). MIMO menggunakan prinsip multiple antena transmit dan multiple antena receive yang menawarkan performansi dan kapasitas sistem yang lebih baik pada kanal multipath fading. Pada MIMO, peningkatan performansi tidak bisa diiringi dengan peningkatan kapasitas. Untuk meningkatkan performansi digunakan teknik diversitas, sedangkan untuk peningkatan kapasitas digunakan spatial multiplexing..

### **3.2 Kapasitas Sistem Berdasarkan Jumlah Antena**

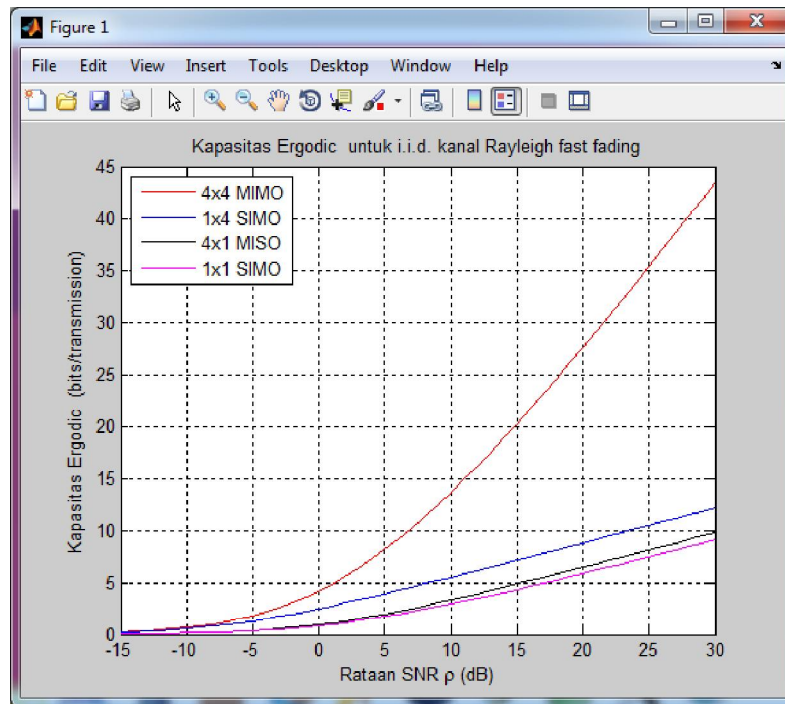
Pada bab ini akan dianalisis mengenai pembahasan pengaruh penggunaan teknik antena jamak SIMO 1x1, MISO 4x1, SIMO 1x4 dan MIMO 4x4 terhadap kinerja OFDMA. Berdasarkan pada hasil simulasi pada Kapasitas Ergodic untuk i.i.d. kanal Rayleigh fast fading dengan SNR=0dB, maka terlihat bahwa semakin banyak antena, maka kapasitas akan semakin besar, baik itu pada penggunaan teknik antena jamak SIMO 1x1, MISO 4x1, SIMO 1x4 dan MIMO 4x4



Gambar 3. 1 Pengaruh jumlah antena

### 3.3 Kapasitas Sistem Berdasarkan SNR

Pada bab ini akan dianalisis mengenai pembahasan pengaruh penggunaan teknik antena jamak SIMO 1x1, MISO 4x1, SIMO 1x4 dan MIMO 4x4 terhadap kinerja OFDMA. Berdasarkan pada hasil simulasi pada 'Kapasitas Ergodic untuk i.i.d. kanal Rayleigh fast fading, maka terlihat bahwa semakin banyak antenna, maka kapasitas akan semakin besar, baik itu pada penggunaan teknik antena jamak SIMO 1x1, MISO 4x1, SIMO 1x4 dan MIMO 4x4



**Gambar 3. 2 Pengaruh rataan SNR**

#### 4. KESIMPULAN

Beberapa hal yang berhasil disimpulkan berdasarkan pelaksanaan penelitian yang dilakukan di STIKOM Bali hingga analisa hasil yang dilakukan, adalah sebagai berikut:

1. Pada penelitian ini, dengan menggunakan teknik antenna jamak SIMO 1x1, MISO 4x1, SIMO 1x4 dan MIMO 4x4 terhadap kinerja OFDMA, maka semakin banyak antenna yang digunakan akan semakin bagus
2. Berdasarkan hasil pengujian maka sistem MIMO sangat dipengaruhi oleh jenis banyaknya antenna serta jumlah pemancar maupun penerima.

#### 5. SARAN

Dalam pelaksanaan proses penelitian, maka terdapat beberapa hal yang dapat disarankan untuk penelitian yang sama berikutnya:

1. Menganalisis performansi penggunaan MIMO-OFDMA pada jaringan LTE release 8 dengan teknologi radio over fiber untuk jumlah antenna yang lebih banyak, misalnya MIMO 2x4 dan MIMO 4x4
2. Mensimulasikan penggunaan teknik antenna jamak SISO 1x1, SIMO 1x2 dan MIMO 2x2 pada OFDMA yang diterapkan pada teknologi radio over fiber pada LTE release 8 sehingga dapat diketahui perbandingan dari hasil perhitungan dan simulasi.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hui Chen, Henry. C.B. Chan, Member IEEE, Victor C. M. Leung, Fellow, IEEE, and Jie Zhang, "Cross-Layer Enhanced Uplink Packet Scheduling for Multimedia Traffic Over MC-CDMA Networks", IEEE Transactions On Vehicular Technology, Vol.59 No 2, pp. 986-992, 2010.

- [2] Endroyono and Hendratoro G., "Cross-Layer Optimization Performance Evaluation of OFDM Broadband Network on Millimeter Wave Channels", IEEE WOCN 2008, 5th IFIP International Conference on Wireless and Optical Communications Networks, Surabaya, pp :1 – 5, May 2008.
- [3] Prasad, R., "OFDM for Wireless Communications Systems", Artech House, INC., London.2004
- [4] Seybold. John S. "Introduction To RF Propagation". New Jersey: John Wiley and Sons, Inc; 2005
- [5] Mahmudah, H., Wijayanti, A., Mauludiyanto, A., Hendratoro, G., Matsushima, A., "Analysis of tropical attenuation statistics using synthetic storm for millimeter-wave wireless network design", Wireless and Optical Communications Networks, WOCN '08. 5th IFIP International Conference. 2008
- [6] Corvino Virginia, dan Tralli Velio, "Cross Layer Radio Resource Allocation for Multicarrier Air Interference in Multicell Multiuser Environment", IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 58 no 4.2009
- [7] Suwadi. "Rekayasa Trafik Telekomunikasi". Handout Kuliah Sistem Jaringan dan Rekayasa Trafik. ITS-Surabaya, 2010
- [8] Stallings, W., "Komunikasi Data dan Komputer: Dasar-dasar Komunikasi Data", Salemba Teknika, Jakarta.2001
- [9] Bhargavan, V., Lu, S., dan Nandagopal, T., "Fair Queueing in Wireless Network : Issues and Approaches," IEEE Personal Commun., Vol. 6, hal. 44-53. 1999.
- [10] Janevski, T., "Traffic Analysis and Design of Wireless IP Networks", Artech House, INC., Norwood.2003.
- [11] Walpole, R. E., Myers, R. H., Myers, L. H., "Probability & Statistics for Engineers & Scientists", Pearson Education. INC.2007.