

## BAB 2

### DASAR TEORI

#### 2.1 Kajian Pustaka

Penelitian[5] meneliti tentang konsep pengkodean jaringan berdasarkan *maximum distance separable (MDS) codes*. *MDS codes* digunakan untuk memprioritaskan manusia yang dirancang secara optimal dengan menggunakan *extrinsic information transfer (EXIT) chart* untuk mendapatkan *degree distribution* yang optimal dan *packet loss rate (PLR)* yang rendah. Penelitian ini beranggapan jika *coded random access (CRA)* merupakan skema *multiple access* dasar untuk jaringan super padat. Beliau menemukan bahwa *degree distribution* sederhana yang optimal untuk kelompok manusia dan mesin bekerja dengan baik dengan prioritas kepada manusia yang ditunjukkan oleh *PLR* yang rendah dan *throughput* yang tinggi.

Penelitian[6] menerapkan *coded random access* untuk melakukan pertukaran data penuh pada *massive uncoordinated multiway relay networks (mu-mRN)* karena mempunyai perubahan topologi yang mudah fleksibel dan mampu untuk melayani pengguna dengan jumlah yang sangat banyak. Penelitian ini bertujuan untuk memaksimalkan *throughput* normalisasi dari mu-mRN menggunakan teknik *multiuser detection (MUD)* dengan kemampuan  $MUD K > 1$ . Tujuan khusus dari dilakukannya penelitian ini adalah melakukan beberapa kali perbaikan, yaitu 10x perbaikan, dari *throughput* Mu-MRN dinormalisasi maksimum dengan menerapkan *Slotted Aloha (SA)*. Namun untuk jumlah slot waktu yang terbatas, beliau mengusulkan untuk mengeksploitasi *side information (SI)* dari pengguna tetangga untuk meningkatkan *throughput* Mu-MRN yang dinormalisasi. Hasilnya menunjukkan bahwa Mu-MRN menggunakan *dir-CSA* dengan *SI* dan mempunyai pengkodean fisik yang optimal dapat mencapai 10x peningkatan *throughput*, jika dibandingkan dengan skema *SA* konvensional.

Penelitian[3] meneliti tentang teknik akses baru yang dapat digunakan untuk memprioritaskan manusia atas mesin untuk jaringan *Internet of Things (IoT)* nirkabel masa depan. Pada penelitian ini mengembangkan *coded random access (CRA)* menggunakan *repetition codes* sebagai skema akses untuk jaringan *ultra*

*high dense*, yang diharapkan dapat melayani jutaan *node*, meliputi manusia dan mesin secara bersamaan. Penelitian ini bertujuan untuk memaksimalkan jumlah pengguna (manusia maupun mesin), dimana prioritas akses diberikan kepada manusia. Dalam penelitian ini, manusia dan mesin menggunakan sistem pengkodean dan modulasi yang sesuai satu sama lain, menurut *extrinsic information transfer (EXIT) chart*, untuk meminimalkan *loss*. Beliau mengevaluasi kinerja skema akses yang diusulkan menggunakan *degree distribution* sederhana untuk manusia dan kelompok mesin dalam hal *packet loss rate (PLR)* dan *throughput*. Beliau menemukan bahwa kelompok manusia dapat diprioritaskan, hal ini ditunjukkan oleh PLR yang rendah dan *throughput* yang tinggi.

Penelitian[4] membahas tentang teknik pendeteksian *header* yang sederhana untuk mengidentifikasi beberapa koneksi perangkat untuk jaringan nirkabel *Internet of Things (IoT)* dengan jangka panjang yang terbatas. Dalam penelitian ini, algoritma efek penangkapan dimanfaatkan untuk mendeteksi beberapa paket dalam slot waktu tunggal. Beliau juga menganalisis kinerja jaringan nirkabel IoT menggunakan analisis jaringan *extrinsic information transfer (EXIT)* diikuti dengan performansi *packet loss rate (PLR)* yang dievaluasi secara teoritis dan numerik dengan simulasi komputer. Beliau menemukan bahwa kode Hadamard bekerja secara efektif sebagai identitas (ID) perangkat untuk jaringan IoT nirkabel panjang terbatas meskipun jumlah pengguna per slot waktu tidak diketahui. Hasilnya menegaskan bahwa sistem CRA dengan deteksi *header* sederhana menjanjikan untuk jaringan nirkabel super padat masa depan dengan praktis.

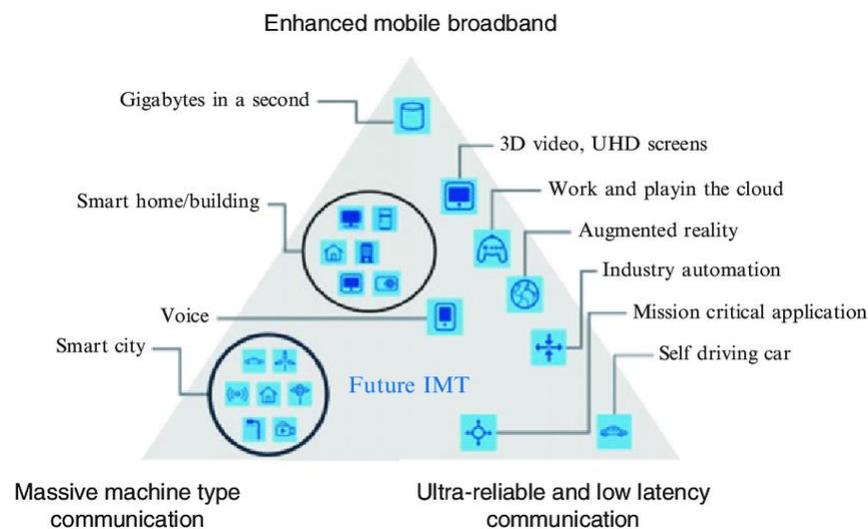
Penelitian[7] menyajikan analisis kinerja yang terbatas untuk jaringan super padat nirkabel yang terdiri dari dua *multiway relay (SDN-2MWR)* untuk mendukung pertukaran data penuh di antara sejumlah besar pengguna/perangkat melalui *rayleigh fading channels*. Pada penelitian ini, menunjukkan bahwa dinamika *rayleigh fading* bermanfaat untuk menghasilkan dua grafik independen yang diambil oleh *rayleigh* pertama dan kedua tanpa mengharuskan semua pengguna mengirim pesan secara independen ke setiap *relay*. Beliau menemukan bahwa untuk SDN-2MWR keuntungan yang signifikan lebih dekat dengan *packet loss rate* yang lebih rendah (jika dibandingkan dengan jaringan super padat dengan

satu *relay*) dapat dicapai tanpa asumsi grafik independen yang ideal bahkan dengan *degree distribution* sederhana tanpa penyimpangan.

## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1 Fifth Generation (5G)

5G merupakan generasi teknologi telekomunikasi generasi kelima yang melanjutkan LTE, yang memungkinkan data *rate* yang lebih tinggi dan efisiensi yang lebih tinggi untuk *mobile broadband*[8]. 5G sering dideskripsikan sebagai *platform* yang dapat memberikan konektivitas nirkabel untuk segala jenis perangkat atau aplikasi dan dapat memberikan banyak keuntungan. Konsep dari *machine-type communication* (MTC) adalah bagian dari rangkaian penggunaan kondisi yang diharapkan di era 5G. Langkah utama yang dilakukan untuk lebih mendukung beberapa jenis aplikasi MTC telah diambil sebagai bentuk bagian dari evolusi LTE. Lebih khusus lagi, langkah ini telah difokuskan pada aplikasi *Masive-MTC* yang berkaitan dengan perangkat yang mempunyai biaya sangat rendah dengan masa pakai baterai yang sangat lama, dengan syarat data *rate* dan latensi relatif rendah.



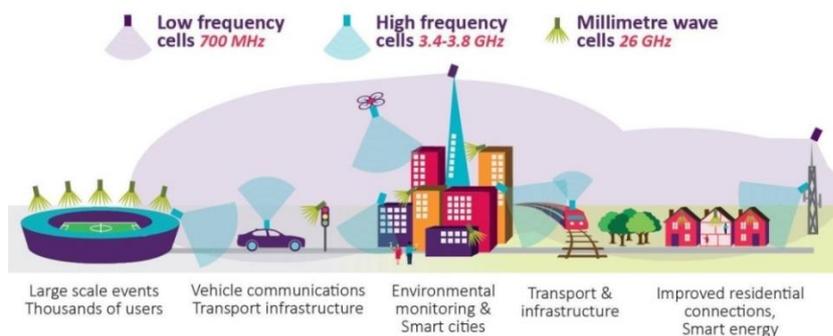
**Gambar 2.1 Skenario Penggunaan[9]**

Pada Gambar 2.1 di atas merupakan sebuah skenario penggunaan 5G yang dibentuk oleh *international mobile telecommunication* (IMT) yang selaras dengan *international telecommunication union* (ITU) terhadap teknologi 5G. Berdasarkan skenario diatas, penggunaan 5G dibagi menjadi tiga bagian yaitu *enhanced mobile broadband* (eMBB), *ultra-reliable and low latency communication* (URLLC), dan

*massive machine type communication* (MMTC). eMBB menghadirkan kemampuan yang baru dan kuat untuk meningkatkan konektivitas, kapasitas sistem dan kecepatan data yang tinggi. Contoh aplikasinya yaitu internet pita lebar, *augmented reality* (AR) dan *virtual reality* (VR). Pada URLLC, prioritas tertinggi untuk scenario penggunaannya adalah parameter latensi dan mobilitas. Contoh aplikasinya adalah *autonomous vehicles*, distribusi otomatis dalam jaringan pintar dan operasi medis jarak jauh. mMTC ditandai dengan pengaplikasian IoT dengan skala yang sangat besar dan masif. Perangkat mMTC harus memiliki masa pakai baterai yang sangat lama dan berbiaya rendah. Contoh aplikasinya adalah *smart home*, *smart office*, pemantauan kesehatan pasien secara *realtime*, *smart building* dan *smart agriculture*[9].

**Tabel 2.1 Karakteristik Layanan Teknologi 5G[10]**

Layanan Seluler 5G	Karakteristik Layanan
eMBB	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Puncak pesat data hingga 20 Gbps</li> <li>- Pesat data untuk <i>user</i> 100-1000 Mbps</li> <li>- Efisiensi spektrum 5 kali lipat</li> </ul>
uRLLC	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Latency</i> yang sangat rendah (1 ms)</li> <li>- Koneksi yang <i>ultra-reliable</i> untuk mobilitas kecepatan tinggi (<math>\leq 500</math> km/jam)</li> </ul>
mMTC	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Koneksi masif (1,000,000/km<sup>2</sup>)</li> <li>- Efisiensi energi jaringan 100 kali lipat</li> </ul>



**Gambar 2.2 Spektrum Berdasarkan Penggunaan Cakupan Area[9]**

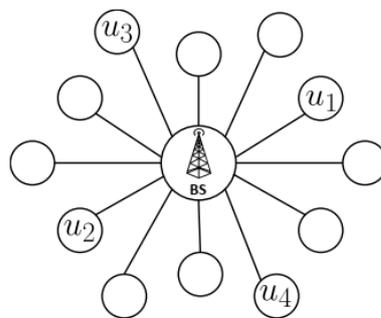
Gambar 2.2 menunjukkan spektrum radio 5G yang dibagi menjadi beberapa jenis berdasarkan penggunaan untuk cakupan area yang berbeda, yaitu[9]:

1. *Low band*: spektrum pada frekuensi di bawah 1 GHz memungkinkan cakupan 5G untuk area yang luas. Spektrum ini bisa digunakan untuk aplikasi IoT.
2. *Mid band*: spektrum pada frekuensi yang lebih tinggi, antara 1 – 6 GHz, menawarkan kapasitas yang diperlukan untuk membantu perangkat yang terkoneksi dalam jumlah besar dan memungkinkan kecepatan yang lebih tinggi untuk perangkat yang terkoneksi bersamaan.
3. *High band (mmWave)*: spektrum pada frekuensi yang sangat tinggi di atas 24 GHz dengan *bandwidth* yang besar, rentang jarak pendek (antara 50 – 200 m), latensi yang sangat rendah, dan kapasitas lebih banyak.

Penerapan teknologi 5G menggunakan frekuensi yang tinggi namun dengan panjang gelombang yang kecil atau biasa disebut sebagai *Milimeter Wave (mmWave)*. Frekuensi *mmWave* merupakan nama frekuensi domain tinggi yang mempunyai rentang frekuensi pembawa (*carrier*) antara 3 GHz – 300 GHz. Sehingga teknologi *mmWave* lebih difokuskan untuk komunikasi jarak pendek dan dapat digunakan sebagai *backbone* jaringan komunikasi[11].

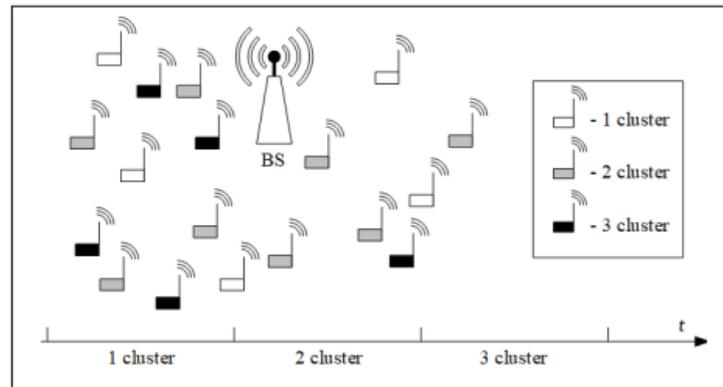
### 2.2.2 Jaringan Super Padat

Jaringan super padat (*super dense network*) adalah kondisi dimana jaringan komunikasi data dengan jumlah *user* yang sangat banyak. Jaringan komunikasi menjadi sangat padat sehingga berdampak pada lalu lintas pertukaran data yang terjadi di dalam jaringan. Hal ini mendesak munculnya teknologi baru seperti CRA karena teknologi sebelumnya (TDMA, FDMA, CDMA) memerlukan *transmit scheduling* dan tidak mampu memberikan solusi[1]. Gambar 2.3 menggambarkan keadaan jaringan super padat yang setiap *user*-nya memerlukan pertukaran data. Contoh dari aplikasi ini adalah IoT.



**Gambar 2.3 Ilustrasi jaringan super padat yang *user*-nya melakukan *full data exchange*[12]**

Dalam jaringan super padat, propagasi sinyal dapat bervariasi secara dramatis dari transmisi lemah ke kuat tergantung pada faktor-faktor seperti *shadowing*, *multipath fading* dari *scattering* dan beberapa komponen sinyal *specular*. Untuk mencocokkan kondisi transmisi untuk berbagai jaringan super padat, maka diperlukan model dengan fleksibilitas tinggi yang mampu mewakili *severe fading* dan *light fading*[13].



**Gambar 2.4 Struktur fisik jaringan super padat[14]**

Transfer data dari perangkat pintar yang memiliki antena dilakukan melalui *base station* (BS). Satu set perangkat pintar yang sama (dari jenis yang sama, misal sesuai dengan persyaratan untuk penundaan transmisi, sesuai dengan jenis data yang dikirimkan, berdasarkan lokasi teritorial, dan sebagainya) membentuk *cluster*. Untuk membagi sumber daya (media transmisi nirkabel) dalam jaringan super padat, disarankan untuk menggunakan algoritma *two-level multiple access*. Tingkat pertama, tingkat *cluster*, menggunakan *synchronous time access* ke media transmisi, yang menentukan bahwa semua waktu transmisi dibagi antara *cluster* ke dalam *time window*, yang masing-masing ditugaskan untuk semua hal pintar yang termasuk di dalamnya. Tingkat kedua mendefinisikan akses ke media transmisi di dalam *time window*. Selama satu *window*, hanya satu perangkat pintar dari *cluster* tertentu yang menggunakan algoritma *synchronous-random access* yang dapat mengirimkan kata ke BS dalam bentuk blok dengan panjang  $b$ , bit[14].

### 2.2.3 OSI Layer

*OSI layer* merupakan model referensi yang digunakan untuk memahami jaringan komputer secara umum. Secara *de facto*, *OSI layer* telah dijadikan acuan

saat mempelajari *network* yang dibangun menggunakan perangkat Cisco. OSI *Reference Model* atau model referensi OSI terdiri atas lapisan berjumlah 7 buah (*layer*)[15].

### 1. *Physical Layer*

*Physical layer* merupakan *layer* pertama atau yang terendah dari model OSI. *Layer* ini bertanggung jawab untuk mentransmisikan bit data digital dari *physical layer* perangkat pengirim (sumber) menuju ke *physical layer* perangkat penerima (tujuan) melalui media komunikasi jaringan. Pada *physical layer* data ditransmisikan menggunakan jenis sinyal yang didukung oleh media fisik, seperti tegangan listrik, kabel, frekuensi radio atau *infrared* maupun Cahaya biasa.

### 2. *Data Link Layer*

*Data link layer* bertanggung jawab untuk memeriksa kesalahan yang mungkin terjadi pada saat proses transmisi data dan juga membungkus bit kedalam bentuk *data frame*. *Data link layer* juga mengelola skema pengalamatan fisik seperti alamat MAC pada suatu jaringan. *Data link layer* merupakan salah satu *layer* OSI yang cukup kompleks, oleh karena itu *layer* ini kemudian dibagi lagi menjadi dua *sub-layer*, yaitu *layer Media Access Control* (MAC) dan *layer Logical Link Control* (LLC). *Layer* MAC bertanggung jawab untuk mengendalikan bagaimana sebuah perangkat pada suatu jaringan memperoleh akses ke medium dan izin untuk melakukan transmisi data. *Layer* LLC bertanggung jawab untuk mengidentifikasi dan membungkus protokol *network layer* dan mengontrol pemeriksaan kesalahan dan juga melakukan sinkronisasi pada *frame*.

### 3. *Network Layer*

*Network layer* bertanggung jawab untuk menetapkan jalur yang akan digunakan untuk melakukan transfer data antar perangkat di dalam suatu jaringan. *Router* jaringan beroperasi pada *layer* ini, yang mana juga menjadi fungsi utama pada *layer network* dalam hal melakukan *routing*. *Routing* memungkinkan paket dipindahkan antar komputer yang terhubung satu sama lain. Untuk mendukung proses *routing* ini, *network layer* menyimpan alamat logis seperti alamat IP untuk setiap perangkat pada jaringan. *Layer network* juga

mengelola pemetaan antar alamat logikal dan alamat fisik. Dalam jaringan IP, pemetaan ini dilakukan melalui *Address Resolution Protocol* (ARP).

#### 4. *Transport Layer*

*Transport layer* bertanggung jawab untuk mengirimkan pesan antara dua atau lebih *host* di dalam jaringan. *Transport layer* juga menangani pemecahan dan penggabungan pesan dan juga mengontrol kehandalan jalur koneksi yang diberikan. Protokol TCP merupakan contoh yang paling sering digunakan pada *transport layer*.

#### 5. *Session Layer*

*Session layer* bertanggung jawab untuk mengendalikan sesi koneksi dialog seperti menetapkan, mengelola dan memutuskan koneksi antar komputer. Untuk dapat membentuk sebuah sesi komunikasi, *session layer* menggunakan sirkuit virtual yang dibuat oleh *transport layer*.

#### 6. *Presentation Layer*

*Presentation layer* bertanggung jawab untuk mendefinisikan sintaks yang digunakan *host* jaringan untuk berkomunikasi. *Presentation layer* juga melakukan proses enkripsi/dekripsi informasi atau data sehingga mampu digunakan pada lapisan aplikasi.

#### 7. *Application Layer*

*Application layer* merupakan lapisan paling atas dari model OSI dan bertanggung jawab untuk menyediakan sebuah *interface* antara protokol jaringan dengan aplikasi yang ada pada komputer. *Application layer* menyediakan layanan yang dibutuhkan oleh aplikasi, seperti menyediakan sebuah *interface* untuk *Simple Mail Transfer Protocol* (SMTP), telnet dan *File Transfer Protocol* (FTP). Pada bagian inilah dimana aplikasi saling terkait dengan jaringan.

### 2.2.4 *Single Carrier-IoT (SC-IoT)*

*Internet of Things* adalah sebuah pengembangan komunikasi jaringan dari benda yang saling terkait, terhubung satu dengan yang lain melalui komunikasi internet serta saling bertukar data yang kemudian dapat mengubahnya menjadi informasi[16]. IoT merupakan *embedded* yang bertujuan untuk memperluas

pemanfaatan dan konektivitas internet yang tersambung secara terus-menerus. Kemampuan seperti berbagi data, *remote control*, dan sebagainya, termasuk juga pada benda di dunia nyata contohnya seperti pangan, elektronik, peralatan yang terhubung dengan sensor dan terhubung dengan jaringan[17]. IoT adalah teknologi yang mampu menyediakan konektivitas ke miliaran perangkat dengan konsumsi daya dan biaya yang rendah karena kesederhanaan komponen.

*Single carrier* IoT (SC-IoT) merupakan kategori IoT yang berdasarkan pada CRA menggunakan teknik *single carrier*. Tantangan jaringan nirkabel masa depan, misalnya IoT, adalah komunikasi latensi rendah dan keandalan tinggi. *Delay* harus di bawah satu milidetik yang membutuhkan teknologi jaringan untuk memproses data dengan kecepatan sangat tinggi, yang biasanya berurusan dengan kompleksitas rendah dan teknik *block-length* pendek. SC-IoT membutuhkan *narrowband*, kompleksitas rendah, dan teknik *block-length* pendek, dan efisiensi dalam *decoding* untuk menjamin penggunaan jaringan jangka panjang. *Bandwidth* SC-IoT secara substansial lebih sempit daripada teknologi akses lainnya, oleh karena itu OFDM tidak digunakan. Manfaat teknologi *narrowband* terletak pada berkurangnya kompleksitas konversi *analog-to-digital* (A/D) dan *digital-to-analog* (D/A)[18]. SC-IoT membutuhkan komunikasi antar perangkat dengan latensi kurang dari 10 detik, menyediakan koneksi 50 K-per-sel atau setara dengan 40 perangkat dalam satu rumah, baterai bertahan lama hingga 10 tahun[19].

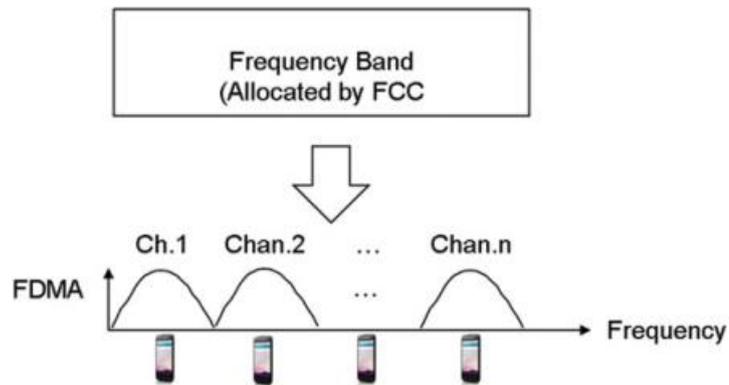
### **2.2.5 Multiple Access**

*Multiple access* dapat didefinisikan sebagai suatu metode untuk menggunakan kanal secara bersamaan. *Multiple access* mempunyai beberapa jenis, antara lain:

#### **a. Frequency Division Multiple Access (FDMA)**

*Frequency Division Multiple Access* (FDMA) merupakan teknik komunikasi tertua yang digunakan dalam penyiaran, *land mobile two-way radio*, dan lain-lain. Ini dimulai dengan pita frekuensi, yang dialokasikan oleh FCC (*Federal Communications Commission*). FCC menyediakan lisensi untuk mengoperasikan sistem komunikasi nirkabel melalui pita frekuensi yang diberikan. Pita frekuensi ini dibagi lagi menjadi beberapa saluran dan ditugaskan

kepada pengguna untuk komunikasi *full duplex*. Berdasarkan Gambar 2.5, pita frekuensi yang dialokasikan FCC dibagi menjadi beberapa frekuensi, disebut juga dengan saluran. Setiap saluran ditetapkan ke satu pengguna. Dalam skema ini, saluran ditempati selama seluruh durasi panggilan. Tautan komunikasi dipertahankan di kedua arah, baik di domain frekuensi maupun di domain waktu[20].



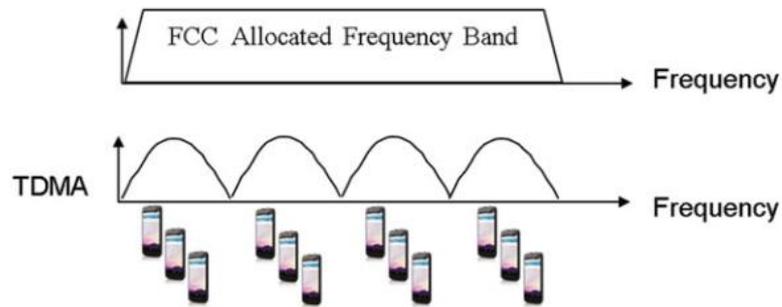
**Gambar 2.5 Ilustrasi teknik FDMA[20]**

Pada FDMA, sepasang frekuensi *carrier* digunakan selama panggilan, satu dari *lower band* dan satu lagi dari *upper band*. Frekuensi *lower band* digunakan oleh radio seluler, dan frekuensi *upper band* digunakan oleh radio stasiun pangkalan. Dalam teknik ini, dua saluran ditempati selama seluruh durasi panggilan. Dapat dicatat bahwa frekuensi yang lebih rendah digunakan dalam ponsel karena peluruhan propagasi bersifat logaritmik sebagai fungsi frekuensi. Karena daya pancar seluler jauh lebih rendah daripada radio radio stasiun pangkalan, perlu untuk menggunakan frekuensi yang lebih rendah dari ponsel. FDMA adalah teknik akses ganda yang digunakan dalam AMPS (*advanced mobile phone system*), juga dikenal sebagai sistem komunikasi seluler generasi pertama (1G)[20].

b. *Time Division Multiple Access (TDMA)*

*Time Division Multiple Access (TDMA)* merupakan metode transmisi dan penerimaan beberapa sinyal independen melalui satu saluran transmisi. TDMA di sisi transmisi yang dikenal sebagai *multiplexer*, menetapkan beberapa saluran di slot waktu yang telah ditetapkan sebelumnya. TDMA di sisi penerima, dikenal

sebagai *de-multiplexer* disinkronkan oleh jam umum untuk menerima data sesuai dengan urutan transmisi.

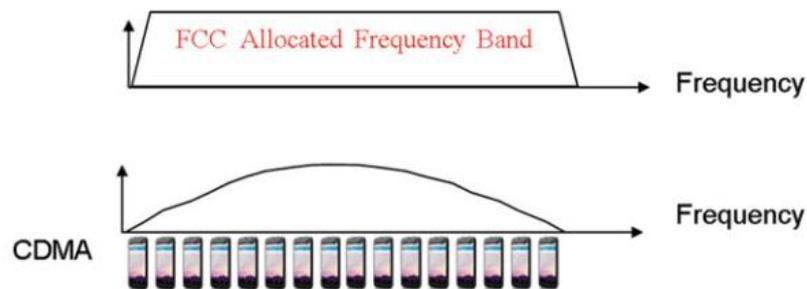


**Gambar 2.6 Ilustrasi teknik TDMA[20]**

TDMA untuk komunikasi nirkabel adalah perpanjangan dari FDMA, dimana setiap saluran FDMA adalah waktu yang dibagi oleh banyak pengguna, satu per satu. Ini dimulai dengan pita frekuensi, yang dialokasikan oleh FCC. Pita frekuensi ini dibagi lagi menjadi beberapa pita frekuensi yang sempit, dimana setiap saluran frekuensi, juga disebut sebagai saluran, digunakan untuk komunikasi *full duplex* oleh beberapa pengguna satu per satu seperti yang digambarkan pada Gambar 2.6[20].

c. *Code Division Multiple Access (CDMA)*

*Code Division Multiple Access (CDMA)* merupakan sebuah sistem komunikasi *spread spectrum (SS)* dimana beberapa pengguna memiliki akses ke frekuensi *carrier* yang sama secara bersamaan. Ini dimulai dengan pita frekuensi, yang dialokasikan oleh FCC seperti yang ditunjukkan oleh Gambar. FCC menyediakan lisensi untuk mengoperasikan sistem komunikasi nirkabel melalui pita frekuensi tertentu. Pita frekuensi ini terbatas dan harus digunakan kembali untuk mendukung sejumlah besar pengguna di wilayah geografis tertentu[20].



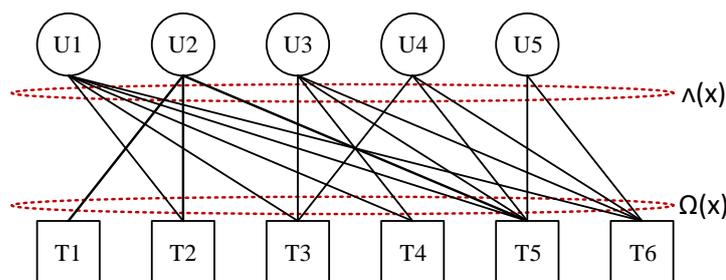
**Gambar 2.7 Ilustrasi teknik CDMA[20]**

CDMA merupakan sebuah bentuk pemultiplexan (bukan sebuah skema pemodulasian) dan sebuah metode akses bersama yang membagi kanal tidak berdasarkan waktu (seperti pada TDMA) atau frekuensi (seperti pada FDMA), namun dengan cara mengkodekan data dengan sebuah kode khusus yang diasosiasikan dengan tiap kanal yang ada dan menggunakan sifat-sifat interferensi konstruktif dari kode-kode khusus itu untuk melakukan pemultiplexan. Aspek kualitas dari suatu jaringan CDMA sistem seluler secara umum diukur dengan menggunakan enam parameter, dimana enam parameter tersebut dianggap dapat mewakili performansi dari suatu sistem komunikasi seluler CDMA. Enam parameter tersebut antara lain *call setup success rate* (CSSR), *call success rate* (CSR), *handover success rate* (HSR), *call drop rate* (CDR), *traffic channel blok* (TCH Blok) dan *THC Rf loss rate*[21].

### 2.2.6 Coded Random Access (CRA)

*Coded Random Access* (CRA) adalah sebuah teknik yang mengkombinasikan *random access* dan *channel coding*. CRA mempunyai dua kata kunci yaitu *random* dan *coding*, dengan bantuan *successive interference cancellation* (SIC)[3].

*Coded Random Access* (CRA) merupakan sebuah teknik *random access* yang unik, dimana prinsip *channel coding* yang diterapkan pada *network* cocok untuk skema *multiple access* mMCT[22]. Teknik *random access*, biasa disebut *coded random access*, bertujuan untuk meningkatkan kinerja slot ALOHA[23]. Dibandingkan dengan *multiple access* lainnya, CRA lebih baik dalam melayani *multiple user*. Namun, CRA mengasumsikan deteksi *header* yang sempurna untuk menjalankan *successive interference cancellation* (SIC) dalam skema *decoding* pada *receiver*[4].



**Gambar 2.8** CRA yang diilustrasikan dengan *bipartite graph*

Gambar 2.8 menunjukkan CRA yang diilustrasikan dengan *bipartite graph*. Lingkaran mewakili *user node* (UN) dan kotak mewakili *slot node* (SN). CRA melakukan transmit data secara *random*, yang secara alami jumlah *user* lebih sedikit dari jumlah *time-slot* yang tersedia untuk menjamin adanya *time-slot* yang mempunyai *degree* satu.

*Degree distribution* untuk UN dinyatakan dengan  $\Lambda(x)$  dan SN dinyatakan dengan  $\Omega(x)$ . *Degree distribution* UN dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (2.1).

$$\Lambda(x) = \sum_h \Lambda_h x^h \quad (2.1)$$

Sedangkan *degree distribution* SN dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (2.2).

$$\Omega(x) = \sum_d \Omega_d x^d \quad (2.2)$$

*Degree distribution* dari *bipartite graph* pada Gambar 2.8 yaitu

$$\Lambda(x) = 0.2x^2 + 0.4x^3 + 0.4x^4, \quad (2.3)$$

dan

$$\Omega(x) = \frac{1}{8}x + \frac{3}{8}x^2 + \frac{1}{2}x^3. \quad (2.4)$$

Pada *multiple access* CRA ada dua jenis pengkodean, yaitu *maximum distance separable* (MDS) *codes* dan *repetition codes*. Penggunaan tipe *encoding* yang berbeda akan mempengaruhi proses SIC.

a. *Maximum Distance Separable* (MDS) *codes*

*Maximum distance separable* (MDS) *codes* adalah salah satu *error-correcting* yang maksimal untuk mengoreksi suatu kesalahan. Kode ini meningkatkan penyimpanan secara efisien tetapi membutuhkan kompleksitas yang lebih tinggi dari pengkodean yang lain. Pada MDS, data asli dikodekan menjadi beberapa segmen oleh pengkodean MDS, data asli dapat dipulihkan bahkan jika beberapa segmen yang dikodekan tidak tersedia[24].

MDS *codes* merupakan salah satu kode yang dapat digunakan untuk mendeteksi dan mengoreksi kesalahan, dimana matriks pembangunnya  $[I|A]$

disusun oleh matriks identitas dan matriks MDS[25]. Dalam pengkodean, matriks MDS dapat mendeteksi dan mengoreksi kesalahan secara optimal.

b. *Repetition codes*

*Repetition codes* jenis kode blok linear yang paling sederhana dengan kemampuan *error-correcting*. Satu bit dikodekan menjadi sebuah blok n bit-bit identik, menghasilkan sebuah blok kode (n,1)[26]. *Repetition codes* mempunyai kelebihan yaitu *low complexity* dan *simple* dalam melakukan desain dan analisa karena satu bit informasi/paket digandakan untuk dikirimkan ke penerima sehingga paket yang dikirimkan dari pengirim akan sampai pada penerima sesuai paket yang dikirimkan. *Repetition codes* ( $n_h, 1$ ) yang mempunyai arti paket akan diulang dan ditransmisikan sebanyak  $n_h$  kali. *Repetition codes* cocok digunakan untuk sensor-sensor yang hanya membutuhkan *data rate* yang rendah karena memiliki *rate* yang lebih kecil dari 0,5[27].

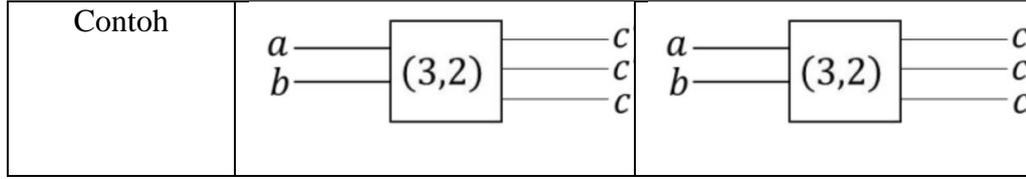
*Degree distribution* pada *repetition codes* mempunyai persamaan seperti persamaan (2.5). *Erasure* probabilitas yang keluar dari UN-manusia pada *repetition codes* diekspresikan sebagai berikut:

$$q^h = \sum_{\ell=2}^{n_c} \lambda_p^h (p^h)^{\ell-1} \quad (2.5)$$

dimana  $\lambda_p^h$  adalah fraksi UN pada *edge perspective*. *Repetition codes* beroperasi pada *rate*  $R \leq \frac{1}{2}$  dan *rate*  $R > \frac{1}{2}$  untuk *maximum distance separable* (MDS) codes, *repetition codes* disimbolkan dengan ( $n_h, 1$ ) dan MDS codes disimbolkan dengan ( $n_h, k$ )[7].

**Tabel 2. 2 Perbandingan MDS Codes dan Repetition Codes**

Perbandingan	MDS Codes	Repetition Codes
Simbol	$(n_i, k_i)$	$(n_h, 1)$
Rate	$R > \frac{1}{2}$	$R \leq \frac{1}{2}$
Penggunaan	Sensor-sensor dengan <i>rate</i> tinggi	Sensor-sensor yang memiliki <i>rate</i> rendah
Kelebihan	Mampu mengatasi terjadinya <i>error</i> dengan baik	Paket yang akan dikirimkan dan diterima akan sama



### 2.2.7 Extrinsic Information Transfer (EXIT) Chart

*Extrinsic Information Transfer* (EXIT) *Chart* awalnya diperkenalkan untuk menganalisis pengolahan iterasi dari tranfer informasi[5]. EXIT *Chart* pertama kali diperkenalkan oleh Ten Brink untuk menganalisis cakupan dari kode turbo. Tujuan utama dari analisis EXIT *Chart* adalah untuk menghitung *mutual information* antara sinyal yang ditransmisikan dan LLRs (*log-likelihood ratios*) dalam skema *coding* iteratif. Apabila *mutual information* semakin meningkat selama proses *decoding*, maka *decoding* akan dianggap berhasil[28].

Optimalisasi *encoding* pada *physical layer* biasanya menggunakan EXIT *Chart*, hal ini dikarenakan EXIT *Chart* merupakan perangkat grafik yang dapat diandalkan untuk memprediksi perilaku konvergensi dari pemrosesan iteratif dalam *encoding physical layer*[6].

EXIT *Chart* pada CRA ditentukan oleh UN *degree distribution* dan SN *degree distribution* sehingga memiliki dua kurva. Kedua kurva didapat dari *edge perspective degree distribution* yaitu turunan pertama  $\Lambda(x)$  atau  $\Omega(x)$  dibagi dengan  $\Lambda'(1)$  atau  $\Omega'(1)$ . *Edge perspective degree distribution* dari UN dinyatakan dengan persamaan:

$$\lambda(x) = \frac{\Lambda'(x)}{\Lambda'(1)} \quad (2.6)$$

Sedangkan *edge perspective degree distribution* dari SN dinyatakan dengan persamaan:

$$\omega(x) = \frac{\Omega'(x)}{\Omega'(1)} = \exp\left(-\frac{G}{R}x\right) \quad (2.7)$$

Yang ditampilkan dalam EXIT *chart* adalah *mutual information* yaitu:

$$I_{E,UN} = 1 - q, \quad (2.8)$$

dan

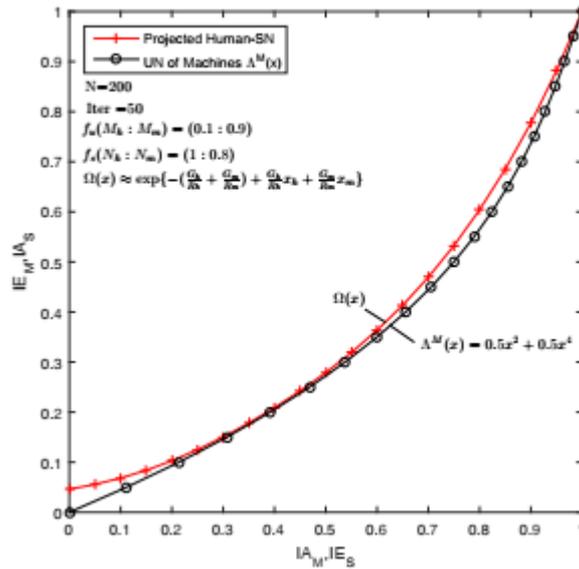
$$I_{E,SN} = 1 - p. \quad (2.9)$$

dengan  $q$  adalah *erasure probability* yang keluar dari *user node* (UN) dan  $p$  adalah *erasure probability* yang keluar dari *slot node* (SN). Hubungan  $q$  dan  $p$  dinyatakan dengan persamaan:

$$q = \lambda(p) \quad (2.10)$$

dan

$$1 - p = \omega(1 - q). \quad (2.11)$$



**Gambar 2.9** Contoh grafik EXIT Chart[3]

Grafik EXIT chart pada Gambar 2.9 menampilkan dua kurva yang mempunyai jarak yang kecil, hal tersebut menunjukkan bahwa grafik EXIT Chart tersebut mempunyai kondisi yang bagus. Grafik EXIT Chart dapat dikatakan bagus apabila kedua kurva dalam grafik mempunyai jarak yang kecil. Hal ini menunjukkan bahwa grafik EXIT Chart tersebut bagus dan sesuai dengan yang diinginkan. Jarak kedua kurva pada grafik EXIT Chart yang kecil menunjukkan apabila paket-paket yang dikirimkan memiliki *loss rate* yang kecil, sehingga *error* yang terjadi dalam pengiriman paket semakin kecil. Kurva *user node* pada Gambar 2.9 berwarna merah, kurva ini juga tidak pernah dimulai dari titik nol karena belum terhubung ke antena dan belum mendapatkan daya. Kurva ini juga tidak dalam bentuk eksponensial. Sedangkan kurva *slot node* ditunjukkan dengan kurva berwarna hitam, kurva ini selalu dimulai dari titik nol karena sudah terhubung ke

antena dan sudah mendapat daya dari antenna. Karena *slot node* berada pada lapisan *network* maka kurvanya dalam bentuk eksponensial.

### 2.2.8 Mutual Information

*Mutual information*  $I(X;Y)$  adalah ukuran ketergantungan antara dua variabel acak. Itu simetris antara X dan Y dan selalu non-negatif dan sama dengan nol jika dan hanya jika X dan Y independen[29].

$$I(X;Y) = H(X) - H(X|Y) = \sum_{x,y} p(x,y) \log \frac{p(x,y)}{p(x)p(y)} \quad (2.12)$$

Saluran komunikasi adalah sistem di mana keluaran bergantung secara probabilistic pada masukannya. Ini dicirikan oleh matriks transisi probabilitas  $p(x|y)$  yang menentukan distribusi bersyarat dari *output* yang diberi *input*. Untuk saluran komunikasi dengan masukan X dan keluaran Y, kita dapat menentukan kapasitas C dengan:

$$C = \max_{p(x)} I(X;Y) \quad (2.13)$$

### 2.2.9 Degree Distribution

*Degree distribution* merupakan sebuah parameter yang dinyatakan dengan fungsi *polynomial* yang terdiri dari suku dan eksponen, menunjukkan pola distribusi paket yang dikirimkan oleh *user* atau *device*. Besar atau kecilnya peluang paket dideteksi ditentukan oleh *degree distribution*. Paket yang dikirimkan direpresentasikan sebagai *edge* yang menghubungkan *user node* (UN) dan *slot node* (SN)[30]. *Node perspective* merupakan jumlah dari *edge* sebanyak h yang terhubung ke UN dan dilambangkan dengan  $\Lambda(x)$ . Persamaan *node perspective* dinyatakan sebagai berikut:

$$\Lambda(x) = \sum_{h=2}^H \Lambda_h x^h \quad (2.14)$$

Dengan  $\Lambda$  merupakan *fraction* dari UN yang mempunyai *degree* h sedangkan H merupakan *degree* maksimal dari UN dan  $x^h$  adalah nilai dari *degree* h. *Edge perspective degree distribution* dari UN dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$\lambda(x) = \frac{\Lambda'(x)}{\Lambda'(1)} = \sum_{h=0}^H \Lambda_h x^{h-1} \quad (2.15)$$

Dengan  $\Lambda'(x)$  merupakan turunan pertama dari *node degree distribution*,  $\Lambda'(1)$  merupakan turunan pertama dari *node degree distribution* dengan nilai  $x = 1$ .

*Rate repetition codes* dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$R = \frac{1}{\sum_{n=2}^{n_h} \Lambda n} \quad (2.16)$$

Dimana  $R$  merupakan *rate repetition codes*,  $\Lambda$  merupakan *fraction* dari UN,  $n$  merupakan nilai dari *degree* dan  $n_h$  merupakan nilai maksimum *degree*.

*Offered traffic* dapat diperoleh dengan jumlah *user* dibagi dengan jumlah *time-slot* seperti pada persamaan (2.14):

$$G = \frac{\text{jumlah user}}{\text{jumlah time - slot}} \quad (2.17)$$

### 2.2.10 Throughput

*Throughput* adalah ukuran yang menunjukkan banyaknya unit informasi yang dapat diproses dalam jangka waktu tertentu. Ini diterapkan secara luas untuk sistem mulai dari berbagai aspek komputer dan sistem jaringan. Ukuran terkait produktivitas sistem termasuk kecepatan penyelesaian beberapa beban kerja tertentu, dan waktu respon, serta jumlah waktu antara satu permintaan pengguna interaktif dan penerimaan respon.

*Throughput* data terkadang mempunyai perbedaan untuk operasi baca dan tulis. Untuk operasi tulis, pengukuran dicapai dengan menghitung jumlah maksimum data yang diterima layanan per unit waktu. Untuk operasi baca, ukurannya serupa tetapi diterapkan pada *output* layanan. Unit waktu harus cukup besar untuk mengintegrasikan kesenjangan antara unit penyimpanan[31].

*Throughput* didefinisikan sebagai rasio dari jumlah paket benar diterima (tanpa *error*) dengan jumlah total paket yang dikirimkan termasuk paket yang salah yang dinyatakan dengan [1]

$$T = G * (1 - P_L) \quad (2.18)$$

dimana  $T$  merupakan *Throughput*,  $G$  merupakan *offered traffic*, dan  $P_L$  merupakan PLR.

### 2.2.11 Packet-Loss Rate

Keandalan jalur jaringan komunikasi dinyatakan oleh *packet loss rate*. Metrik ini sama dengan jumlah paket yang tidak diterima dibagi dengan jumlah total paket yang dikirim. Paket yang salah umumnya tidak dianggap di luar paket yang hilang dalam jaringan komputer karena sebagian besar aplikasi memerlukan integritas data. *Driver frame* penerimaan membuang setiap paket yang salah yang menjadi hilang. Namun, hal ini bukan aturan umum, terutama di jaringan audio atau video, karena aplikasi dapat menerima tingkat kesalahan yang rendah. Pengukuran dicapai dengan menggunakan nomor urut di setiap paket dan menghitung angka yang hilang[31].

*Packet Loss Rate* (PLR) dapat juga disebut sebagai perbandingan sejumlah paket gagal dideteksi dibandingkan dengan total paket yang dikirim yang bisa disebabkan hilang di perjalanan atau diterima tetapi tidak berhasil dideteksi. Paket hilang karena adanya *collison*. PLR dapat dihitung dengan menggunakan

$$P_L = \frac{\hat{b}}{b} \quad (2.19)$$

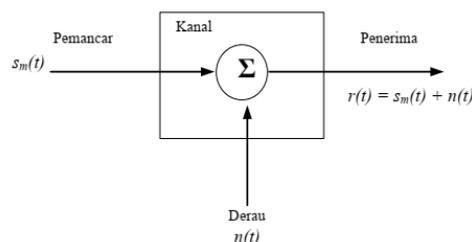
dengan  $\hat{b}$  adalah informasi awal dan  $b$  adalah jumlah informasi yang diterima pada *receiver* setelah dilewatkan kanal[1].

### 2.2.12 Jenis-Jenis Kanal

Kanal dalam sistem komunikasi nirkabel dibagi menjadi beberapa jenis, antara lain sebagai berikut:

#### a. Kanal *Additive Gaussian Noise* (AWGN)

Dalam komunikasi, kanal *Additive White Gaussian Noise* (AWGN) adalah suatu kanal dimana informasi diberi gangguan berupa penambahan linear dari *white noise* dengan kerapatan spektrum yang konstan dan distribusi *Gaussian* dari *samplenoise*[32].



Gambar 2.10 Pemodelan kanal AWGN[32]

Sinyal yang ditransmisikan  $S_{Tx}(t)$  terkena sebuah *noise* acak yaitu  $n(t)$ . Ketika sinyal mendapatkan redaman selama proses pentransmisian melalui sebuah kanal, maka sinyal yang diterima pada interval  $0 \leq t \leq T$ , dapat dinyatakan dengan persamaan[33]:

$$S_{Rx}(t) = S_{Tx}(t) + n(t) \quad (2.20)$$

b. Kanal *Rayleigh*

Dalam komunikasi seluler, jarang sekali terjadi hubungan langsung saja. Sinyal banyak mengalami pantulan dimana-mana, sehingga terjadi berbagai macam jalur yang dilalui sinyal untuk sampai ke penerima (*multipath*). Antara sinyal yang pemancarannya melalui *multipath* tersebut dapat berinterferensi positif maupun negatif sehingga pada penerima terlihat bahwa sinyal tersebut berfluktuasi. Efek fluktuasi sinyal ini biasa disebut *fading*. *Fading* juga dapat terjadi karena efek *doppler*, yang terjadi jika *user* bergerak dengan kecepatan relatif terhadap *base station*[32]. Salah satu pemodelan kanal *multipath* adalah distribusi *Rayleigh*. Persamaan umum *probability density function* (pdf) distribusi *Rayleigh* adalah sebagai berikut:

$$p(r) = \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) \quad 0 \leq r \leq \infty \quad (2.21)$$

$r$  adalah *magnitude* dan  $\sigma$  adalah nilai rms dari level sinyal yang diterima sebelum detektor, dan  $\sigma^2$  adalah daya waktu rata-rata dari sinyal diterima.

Pengaruh perpindahan pengguna dijabarkan oleh rumus:

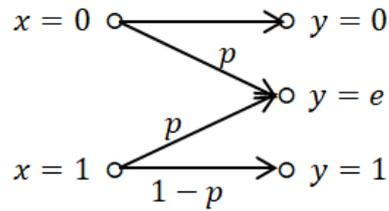
$$fd = \left(\frac{vf}{c}\right) \cos \theta \quad (2.22)$$

Dimana  $f$  adalah frekuensi *carrier*,  $v$  adalah kecepatan pengguna,  $c$  adalah kecepatan Cahaya,  $\theta$  adalah sudut gelombang, dan  $fd$  adalah frekuensi *doppler*.

c. Kanal BEC (*Binary Erasure Channel*)

Model kanal yang paling sederhana dan temudah adalah *Binary erasure channel* (BEC). Pada tahun 1954, Elias memperkenalkan BEC sebagai contohnya. Jaringan data dimana paket tiba dengan benar atau hilang karena arus berlebih atau penundaan yang berlebihan dapat dimodelkan menggunakan *erasure channel*. Informasi dapat hilang tetapi tidak rusak melalui *erasure channel*[34]. BEC akan menghapus dengan cara yang sangat sederhana sehingga

satu bit dapat hilang atau diteima selama transmisi. Menemukan nilai bit adalah tantangan *decodin* mengingat lokasi penghapusan dan bagian dari *codeword* yang belum dihapus.



**Gambar 2.11 BEC dengan *erasure probability*  $p$ [1]**

BEC dengan *erasure probability*  $p$  yang menunjukkan kemungkinan data  $x$  akan hilang selama dikirim. Memiliki 2 input atau masukan yaitu  $x_1$  dan  $x_2$  serta memiliki 3 *output* yaitu  $y_1, y_2, y_3$ . BEC mempunyai nilai  $p$  yang berkisar pada  $0 \leq p \leq \frac{1}{2}$ . Hasil probabilitas yang diperoleh adalah “e” jika paket yang dikirim “0” dan “1”[1].