

BAB 2

DASAR TEORI

2.1 KAJIAN PUSTAKA

Penelitian [5] berfokus pada analisis kinerja RA-D2D underlay. Kinerja skema yang diusulkan kemudian dianalisis dalam hal kapasitas *ergodic*. link RA-D2D dapat meningkatkan efisiensi spektral dibandingkan dengan *half-duplex*(HD) dan mode komunikasi D2D full-duplex (FD). Hasil menunjukkan bahwa sistem yang dibantu relai lebih unggul dibandingkan dengan sistem HD dan sistem FD dalam batas interferensi masing-masing.

Penelitian [6] berfokus pada analisis komunikasi *relay-assisted Device-to-Device* (D2D) *underlay* menggunakan jaringan *Long Term Evolution* (LTE). Skripsi ini menggunakan metode Nash Bargaining untuk *power control* pada komunikasi D2D. Skripsi ini menyimpulkan bahwa Nash Bargaining dapat melakukan kontrol daya terhadap D2D. Maka ketika perangkat D2D dan CU menggunakan *resource block* yang sama, komunikasi D2D tidak akan memberikan interferensi yang tinggi kepada pengguna selular.

Penelitian [7] membahas mengenai penggunaan *relay* untuk meningkatkan efisiensi energi pada sistem komunikasi. Dengan penggunaan *relay* antara *base station* dengan perangkat CU, dengan jarak kanal dapat diminimalisir, sehingga energi transmisi dapat diturunkan. penggunaan *relay* dilakukan dengan memanfaatkan protocol komunikasi *amplify and forward* (AF), *decode and forward* (DF), dan *quantize and forward* (QF). Pemilihan relay adalah hal penting dalam sistem komunikasi kooperatif nirkabel yang dapat meminimalisir tingkat penggunaan energi pada sistem.

Penelitian [8] membahas mengenai banyaknya iterasi memberikan dampak yang signifikan pada parameter performansi, karena semakin banyak jumlah iterasi maka akan semakin baik nilai parameter yang didapatkan. Hasil simulasi menggunakan algoritma *Greedy* dengan *Particle Swarm Optimization* (PSO) sebagai algoritma alokasi daya menghasilkan parameter performansi yang paling

baik. Hal ini dikarenakan algoritma PSO mencari solusi untuk mendapatkan kombinasi daya terbaik, untuk mencapai nilai sumrate yang baik.

2.2 DASAR TEORI

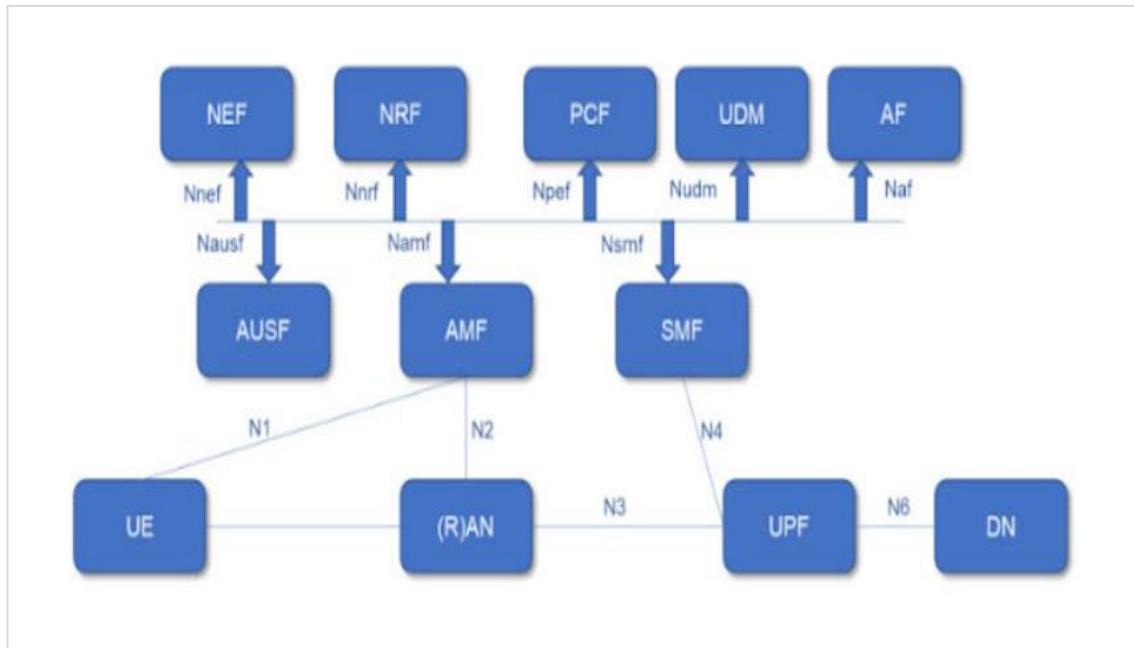
2.2.1 Jaringan Seluler 5G

Ketika teknologi berkembang dari 2G *Global System for Mobile Communications* GSM ke 3G *Universal Mobile Telecommunication System* (UMTS), kecepatan jaringan yang lebih tinggi dan kecepatan pengunduhan yang lebih cepat dan memungkinkan panggilan video *realtime* dengan kecepatan data telah meningkat dari 64 kbps pada 2G menjadi 2 Mbps pada 3G dan 50–100 Mbps pada 4G. Seiring dengan perkembangan teknologi seluler 4G mulai digunakan, peneliti, perwakilan industri operator seluler, institusi akademik sudah mulai melirik kemajuan (teknologi) jaringan komunikasi 5G karena beberapa tuntutan utama yaitu kecepatan data yang lebih baik, kapasitas yang lebih baik, latensi yang diminimalkan, dan *Quality of Service* (QoS) yang lebih baik. [9]

Penelitian dan pengembangan 5G juga bertujuan untuk meningkatkan dukungan mesin ke mesin komunikasi, juga dikenal sebagai *Internet of things* (IoT), bertujuan untuk biaya yang lebih rendah, konsumsi baterai yang lebih rendah, latensi yang lebih rendah, meningkatkan keamanan dan konektivitas untuk komunitas besar. [9]

2.2.1.1 Arsitektur Jaringan Seluler 5G

Setiap teknologi jaringan seluler dari 1G hingga 5G memiliki arsitektur yang berbeda-beda. Setiap perangkat jaringan 5G memiliki peranannya masing-masing mulai dari *core network* hingga ke *user*. Gambar 2.1 merupakan arsitektur jaringan 5G.



Gambar 2. 1 Arsitektur Jaringan 5G [10]

Berikut merupakan fungsi dari setiap perangkat :

1. *Authentication Server Function* (AUSF) memiliki fungsi untuk menyimpan kunci yang akan digunakan pada proses autentikasi. AUSF memiliki fungsi seperti HSS di 4G atau HLR di 3G. [10]
2. *Access and Mobility Management Function* (AMF) berfungsi untuk mengotrol sinyal antara *core network* dengan perangkat *user*. Selain itu AMF juga memiliki fungsi manajemen dalam konteks keamanan.
3. *Network Exposure Function* (NEF) berfungsi sebagai bagian yang mengekspos informasi kemampuan fungsi dari *core network* ke eksternal jaringan. [10]
4. *Network Repository Function* (NRF) memiliki fungsi sebagai komponen yang digunakan untuk mengeksplorasi fungsi jaringan yang ada didalam maupun diluar jaringan yang ada apabila ditemukan. [10]
5. *Policy Control Function* (PCF) merupakan sebuah komponen yang memiliki fungsi sebagai pembuat peraturan dan sebagai pegawai dalam lingkup bagian atau komponen *Control Plane*. [10]

6. *Unified Data Management* (UDM) memiliki fungsi sebagai penghasil otoritas *Authentication and Key Agreement* (AKA) . penanganan identifikasi pengguna, otorisasi akses, dan manajemen pelanggan. [10]
7. *Application Function* (AF) fungsi sebagai kkomponen yang menyediakan layanan aplikasi bagi *user*. [10]
8. *Session Management Function* (SMF) memiliki fungsi yaitu untuk melakukan manajemen terhadap alokasi alamat IP kepada UE. [10]
9. *User Plane Function* (UPF) merupakan bagian yang memiliki fungsi gate untuk gNB atau RAN dari jaringan 5G ke jaringan luar, kemudian UDF akan melakukan routing paket data, filter paket data, dan inspeksi paket data. [10]
10. *Radio Access network* (RAN) merupakan komponen yang memiliki fungsi untuk menghubungkan antara *core* dan *access network*. Pada jaringan 5G, gNB adalah RAN yang nantinya terhubung dengan salah satunya UE. [10]
11. *User Equipment* (UE) adalah perangkat yang digunakan oleh *user* atau biasa disebut dengan telepon genggam. UE biasanya langsung terhubung ke gNB(RAN) dan juga AMF. [10]

4G dan 5G merupakan dua generasi jaringan seluler yang berbeda. Tabel 2.1 adalah beberapa perbedaan jaringan 4G dan 5G [11] :

Tabel 2. 1 Perbandingan Performansi jaringan 4G dan 5G [11]

Aspek	5G	4G
Band Frekuensi yang Digunakan	Band Frekuensi Tinggi serta band frekuensi rendah	Band frekuensi rendah
Arsitektur Jaringan	Arsitektur berbasis <i>Service Based Architecture</i> (SBA) dengan fungsi <i>core</i>	Arsitektur monolitik dengan fungsi <i>core network</i> yang dikumpulkan bersama.

Aspek	5G	4G
	<i>network</i> yang dibagi menjadi layanan modular.	
<i>Network Slicing</i>	Memungkinkan pembuatan beberapa jaringan virtual dengan karakteristik performa yang berbeda untuk kasus penggunaan yang berbeda	Tidak Ada
<i>Latency</i>	Latensi 1 ms untuk komunikasi ultra-reliable-low-latency (URLLC) yang spesifik.	Rata-rata latensi sekitar 30-50 milidetik
<i>Peak Data Rate</i>	Peak Data Rate yang ditargetkan adalah 20 Gbps.	Peak Data Rate puncak 1 Gbps
Banyaknya Pengguna	Memungkinkan 1 juta user per kilometer persegi.	Memungkinkan 100.000 perangkat per kilometer persegi
<i>Power Efficiency</i>	Lebih efisien pada energi karena menggunakan teknologi canggih seperti <i>network slicing</i> , <i>edge computing</i> , dan MIMO massal (Multiple input, Multiple output).	Kurang efisien pada energi yang digunakan karena menggunakan teknologi dan arsitektur yang lebih lama.

2.2.1.2 Klasifikasi Spektrum Frekuensi 5G

Klasifikasi spektrum frekuensi 5G terbagi atas tiga kategori, yaitu low band, medium band, dan high band seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 2.2

Tabel 2. 2 Kategori Spektrum Frekuensi 5G [12]

Kategori	Frequency	Bandwidth	Penggunaan
Low frequency	Under 1GHz	Bandwidth menjangkau 20 MHz	mMTC
Middle frequency	1 – 6 GHZ	Bandwidth menjangkau 100 MHz	mMTC, eMBB
Hight frequency	Above 6 GHz	Bandwidth menjangkau 800 MHz	MBB, uRLLC

1. *Low Frequency*

Spektrum frekuensi yang rendah berada di bawah 1 GHz memungkinkan cakupan 5G di wilayah yang luas seperti LTE (4G) dan Wi-Fi.

2. *Middle frequency*

Spektrum yang berada pada frekuensi yang lebih tinggi dengan *range* 1 hingga 6 GHz, kapasitas yang ditawarkan sesuai dengan jumlah pengguna yang terhubung dan kecepatan yang lebih tinggi untuk perangkat yang terkoneksi pada jaringan.

3. *High band (mmWave)*

High band atau frekuensi tinggi merupakan spektrum yang berada di atas 24 GHz dengan *bandwidth* yang lebih besar, jarak radius yang pendek (di antara 50 dan 200m), latency yang sangat rendah, dan kapasitas yang lebih besar. rekuensi ini memiliki kapasitas yang sangat tinggi dan dapat memberikan kecepatan transfer data yang sangat cepat. Namun, cakupan area dari frekuensi mmWave terbatas dan terpengaruh oleh hambatan fisik seperti bangunan dan pepohonan.

Adapun spesifikasi untuk 5G terdapat pada frekuensi FR 1 dan FR 2 [13]. Spesifikasi frequency range untuk 5G NR FR 1 ditunjukkan pada Tabel 2.3, dan frequency range untuk 5G NR FR 2 ditunjukkan pada Tabel 2.4.

Tabel 2. 3 Range frequency 5G NR FR 1 [13]

<i>Band</i>	<i>Uplink Frequency (MHz)</i>	<i>Uplink Frequency (MHz)</i>	<i>Duplex Mode</i>
n1	1920 -1980	2110-2170	FDD
n2	1850 -1910	1930-1990	FDD
n3	1710 -1785	1805-1880	FDD
n5	824 - 849	869-894	FDD
n7	2500 - 2570	2620-2690	FDD
n8	880 - 915	925-960	FDD
n12	699 -716	729-746	FDD
n14	7888 - 798	758-768	FDD
n18	815 - 830	860-875	FDD
n20	832 - 862	791-821	FDD
n25	1850 -1915	1930-1995	FDD
n28	703 -748	758-803	FDD
n29	-	717-728	SDL
n30	2305 - 2315	2350-2360	FDD
n34	2010 - 2025	2010-2025	TDD
n38	2570 - 2620	2570-2620	TDD
n39	1880 - 1920	1880-1920	TDD
n40	2300 - 2400	2300-2400	TDD
n41	2496 - 2690	2496-2690	TDD
n48	3550 - 3700	3550-3700	TDD
n50	1432 - 1517	1432-1517	TDD
n51	1427 -1432	1427-1432	TDD
n65	1920 - 2010	2110-2200	FDD

<i>Band</i>	<i>Uplink Frequency (MHz)</i>	<i>Uplink Frequency (MHz)</i>	<i>Duplex Mode</i>
n66	1710 -1780	2110-2200	FDD
n70	1695 -1710	1995-2020	FDD
n71	663 - 698	617-652	FDD
n74	1427 -1470	1475-1518	FDD
n75	-	1432-1517	SDL
n76	-	1427-1432	SDL
n77	3300 - 4200	3300-4200	TDD
n78	3300 - 3800	3300-3800	TDD
n79	4400 - 5000	4400-5000	TDD
n80	1710 - 1785	-	SUL
n81	880 - 915	-	SUL
n82	832 - 862	-	SUL
n83	703 - 748	-	SUL
n84	1920 -1980	-	SUL
n86	1710 -1780	-	SUL
n89	824 - 849	-	SUL
n90	2496 - 2690	2496-2690	TDD
n91	832 - 862	1427-1432	FDD
n92	832 - 862	1432-1517	FDD
n93	880 - 915	1427-1432	FDD
n94	880 - 915	1432-1517	FDD
n95	2010 - 2025	-	SUL

Tabel 2. 4 Range frequency 5G NR FR 2 [13]

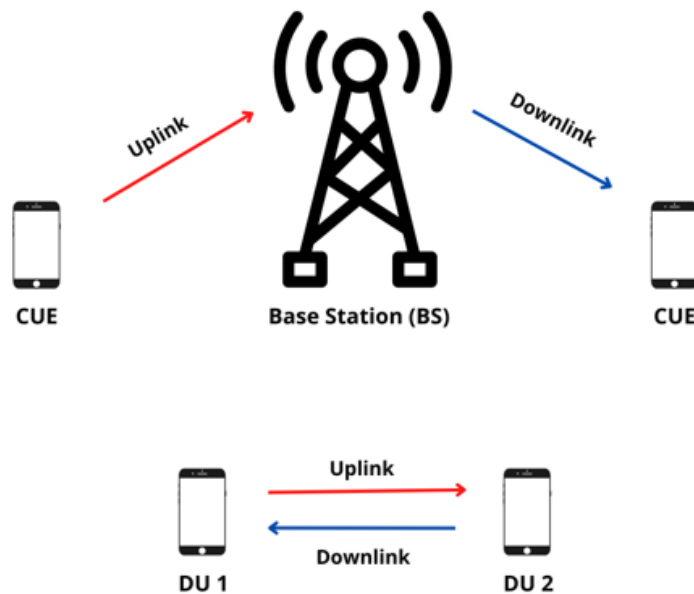
<i>Band</i>	<i>Frequency Band (GHz)</i>	<i>Duplex Mode</i>
n257	26.5 - 29.5	TDD

<i>Band</i>	<i>Frequency Band (GHz)</i>	<i>Duplex Mode</i>
n258	24.25 - 27.5	TDD
n260	37 - 40	TDD
n261	27.5 - 28.35	TDD

Berdasarkan frequency range pada Tabel 2.3, penelitian ini menggunakan band 38 frekuensi 3.6 dengan duplex mode yaitu TDD. TDD (Time Division Duplex) adalah kategori frekuensi yang menggunakan pendekatan duplexing waktu, di mana pengiriman dan penerimaan data menggunakan waktu yang terpisah pada frekuensi yang sama. Teknologi TDD memungkinkan alokasi yang fleksibel dari sumber daya spektrum dan dapat beradaptasi dengan kebutuhan lalu lintas data yang berubah-ubah.

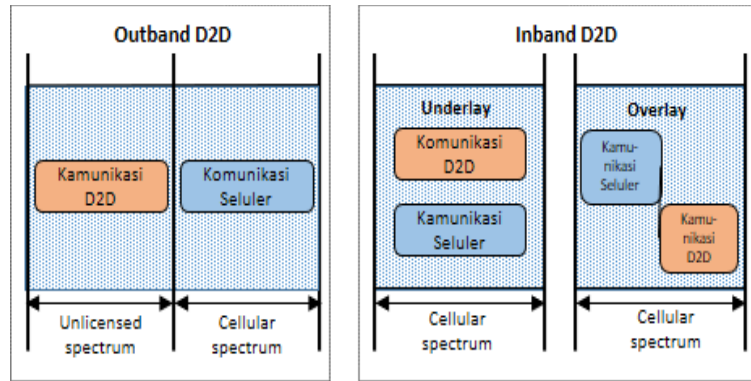
2.2.2 Komunikasi *Device To Device*

Device-to-Device (D2D) merupakan komunikasi dua perangkat atau lebih yang saling berkomunikasi secara langsung tanpa melalui perantara *base station* (BS). Komunikasi D2D dapat meningkatkan efisiensi spektral, efisiensi energi, dan mengurangi latency [5]. Namun, beberapa tantangan muncul saat memperkenalkan komunikasi D2D yang mendasarinya, yaitu pemilihan mode, alokasi sumber daya, analisis interferensi, dan kontrol daya [4]. Kelebihan sistem komunikasi D2D dapat mempermudah kinerja dari BS, karena *user* yang menggunakan skema komunikasi D2D akan dapat melakukan komunikasi tanpa melalui perantara *base station*. Konsep komunikasi antara beberapa pengguna seluler baik melalui BS dan D2D dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Konsep Komunikasi D2D [14]

Perangkat D2D dapat berfungsi sebagai *relay* bagi pengguna CU konvensional dengan mengirimkan sinyal *broadcast* dari *base station* menuju pengguna CU yang berada diluar jangkauan transmisi *base station*. Adapun kelemahan dari sistem komunikasi D2D yakni dengan adanya komunikasi D2D dapat memicu terjadinya interferensi terhadap BS atau terhadap pengguna CU konvensional yang berada didalam jangkauan komunikasi D2D. Namun, pengaruh interferensi yang dihasilkan dari komunikasi D2D dapat diminimalisir dengan melakukan manajemen interferensi pada komunikasi D2D. Komunikasi D2D dapat beroperasi pada seluler *inband* atau *outband* spektrum. Komunikasi D2D *inband* mencakup mode *underlay* dan *overlay*. Mode *overlay* menghasilkan bahwa sebagian besar dari spektrum seluler didedikasikan hanya untuk tautan D2D dimana hal tersebut dapat menghilangkan interferensi antara D2D dan komunikasi seluler, tetapi juga membatasi perolehan efisiensi spektral komunikasi D2D sedangkan mode *underlaying* komunikasi D2D bisa secara signifikan meningkatkan efisiensi spektral terutama pada beban trafik tinggi jika manajemen sumber daya radio dapat membatasi dan mengontrol interferensi antara D2D dan komunikasi seluler [15].



Gambar 2. 3 Perbandingan spektrum frekuensi *outband* dan *inband* [15]

Pada gambar 2.3 komunikasi D2D dikategorikan berdasarkan spektrum sebagai berikut :

2.2.2.1 *Unlicensed Spectrum (Outband)*

Unlicensed Spectrum (outband) merupakan tautan D2D yang dieksploitasi tanpa izin spektrum yang membuat masalah interferensi antara D2D dan pengguna seluler tidak relevan sehingga frekuensi yang dapat digunakan secara bebas oleh pengguna yang berada dalam jangkauan komunikasi. Spektrum frekuensi *outband* terbagimenjadi dua yaitu [16]:

1. *Controlled outband*, pada spektrum *outband* ini semua hubungan komunikasi antar *devices* di kontrol oleh *cellular network*.
2. *Autonomous outband*, pada spektrum *outband* ini *cellular network* dapat mengontrol komunikasi antar *device* kecuali komunikasi D2D dikarenakan komunikasi D2D dikontrol oleh penggunanya sendiri.

2.2.2.2 *Licensed Spectrum (Inband)*

Licensed Spectrum (inband) merupakan tautan D2D yang berlisensi dan control spektrum yang tinggi sehingga lebih baik digunakan pada lingkungan yang sudah direncanakan. spektrum frekuensi *inband* terbagi menjadi dua yaitu [16]:

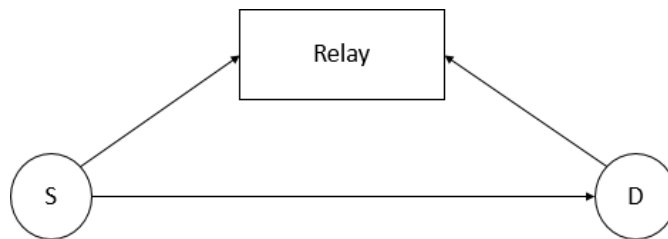
1. *Underlay inband*, pada spektrum *inband* ini D2D berbagi resource

spektrum yang sama dengan beberapa CUE. Hal ini dapat meningkatkan efisiensi spektral, efisiensi energi, kapasitas seluler, QoS dan target kinerja lainnya. Dalam mode underlay, pasangan D2D berkomunikasi dalam satu subkanal dan seluler di subkanal lainnya [17].

2. *Overlay inband*, pada spektrum *inband* ini mengalokasikan *resource* yang telah didedikasikan. Spektrum ini dapat meningkatkan performansi tanpa adanya interferensi, tetapi nilai efisiensi spektrum lebih rendah dibandingkan dengan *underlay inband*.

2.2.3 Sistem Komunikasi Kooperatif

Sistem komunikasi kooperatif *device-to-device* (D2D) adalah suatu sistem yang bertujuan untuk meningkatkan kecepatan pengiriman data dan efisiensi energi. Pada sistem kooperatif, skema *relay* merupakan perangkat penting dalam proses pengiriman informasi [18].



Gambar 2. 4 Model sistem komunikasi kooperatif [7]

Pada Gambar 2.4 *Source* (S) atau sumber dapat mentransmisikan informasi langsung ke *destination* (D) atau tujuan maupun melalui user lain yang berperan sebagai *relay*. Penggunaan *relay* diperlukan untuk menjangkau kapasitas jaringan. Dalam hal ini *destination* dapat berupa *base station* (micro bts, pico bts) maupun *user*. *Relay* adalah perangkat yang berada dekat dengan perangkat *source* atau perangkat *destination* berfungsi sebagai perantara yang membantu untuk meminimalisir jarak antara sumber dan tujuan. Konsep ini merupakan konsep dasar yang diterapkan pada komunikasi kooperatif D2D

Terdapat tiga protokol sistem komunikasi kooperatif yaitu [7]:

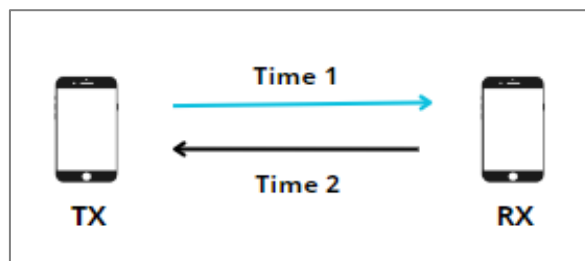
1. *Amplify and Forward*, merupakan protocol sistem komunikasi kooperatif yang paling sederhana. Protokol ini melakukan proses penguatan sinyal informasi dan *noise* tanpa melakukan proses *encoding*. Penguatan sinyal pada *relay* bertujuan untuk menyeimbangkan dan juga memperbaiki sinyal yang mengalami pelemahan saat proses transmisi. Namun, *noise* yang berada pada sinyal informasi juga akan mengalami penguatan.
2. *Quantize and Forward*, adalah protokol yang melakukan kuantisasi dimana sinyal informasi yang dikirimkan oleh *source* kepada *relay* dikuantisasi dahulu sebelum dikirimkan ke perangkat *destination*.
3. *Decode and Forward*, dimana sinyal informasi yang dikirim dari *source* ke *destination* terlebih dahulu dilakukan *encoding* pada *relay*.

2.2.4 Skema Komunikasi

Skema komunikasi adalah skema yang digunakan dalam melakukan komunikasi dari satu perangkat ke perangkat lainnya. Pada penelitian ini menggunakan tiga skema yaitu :

1. *Half Duplex* (HD)

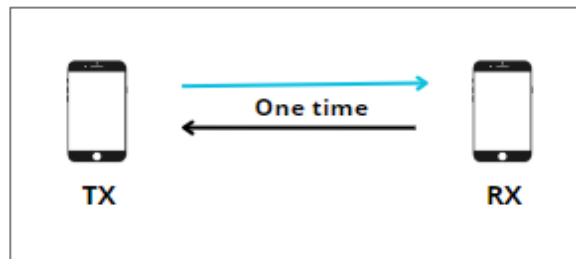
Pada *half duplex* dalam satu waktu hanya satu pengguna D2D (DU_1) pada *transmitter* yang dapat menggunakan *resource* CUE dan yang lainnya (DU_2) bekerja pada *receiver* [19]. HD hanya satu pengguna D2D yang dapat menggunakan CUE. Adapun ilustrasi skema *half duplex* pada gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Ilustrasi skema *Half Duplex*

2. Full Duplex (FD)

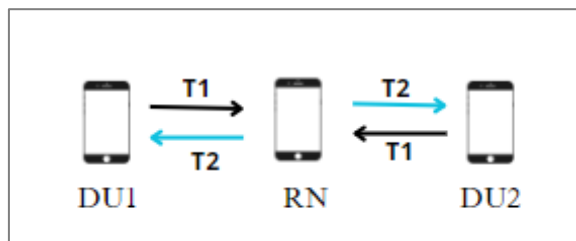
Full duplex merupakan skema komunikasi D2D yang menggunakan frekuensi *band* yang sama pada sisi pengirim dan penerima yang dapat meningkatkan efisiensi spektral, namun kekurangannya masih di *self interference* yang memengaruhi masalah pengoptimalan dan dapat mengatasi kinerja sistem meskipun *self interference* bisa dikurangi di mode ini tetapi tidak sepenuhnya dapat dihilangkan [19]. Gambar 2.6 merupakan ilustrasi komunikasi *full duplex*.



Gambar 2. 6 Ilustrasi skema *Full Duplex*

3. Relay Aided (RA)

Pada skema ini, pengguna D2D saling berkomunikasi melalui *node relay* yang terletak diantara pasangan D2D. Komunikasi D2D dengan bantuan *relay* yang dapat memberikan proses transmisi yang efisien untuk memberikan kualitas komunikasi yang lebih baik. Transmisi D2D dibagi menjadi dua *time slots*, saat *time slot* (TS) pertama, DU_1 dan DU_2 / (RN). Setelah proses *decoding*, relai mengkodekan ulang pesan dan mentransmisikan ulang ke terminal D2D (DU_1 dan DU_2) di fase kedua [20]. Adapun ilustrasi skema *relay aided* pada gambar 2.7.



Gambar 2. 7 Ilustrasi skema *Relay Aided*

2.2.5 Channel to Interference Noise Ratio (CINR)

CINR adalah parameter rasio perbandingan *gain* dengan interferensi dan *noise* pada suatu saluran komunikasi. Interferensi biasanya terjadi pada proses komunikasi D2D dan komunikasi seluler [21]. Untuk dapat mengetahui kualitas sinyal pada penerima maka digunakan perhitungan CINR dengan persamaan [22]:

$$\gamma = \frac{g}{(p \cdot g) + N} \quad (2.1)$$

Keterangan :

γ = CINR

g = *Gain*

p = Daya kirim

N = *Noise*

Dimana g adalah *gain* dari transmisi, p adalah *power transmitter*, dan N adalah *noise* yang terjadi pada sistem. Semakin tinggi nilai CINR, maka semakin tinggi pula pada nilai kualitas dari suatu kanal [23].

2.2.6 Signal to Interferensi Noise Ratio (SINR)

SINR merupakan perbandingan kuat sinyal dengan interferensi dan *noise*. Semakin besarnya nilai SINR sebanding dengan *throughput*. Untuk mengetahui kualitas sinyal pada *receiver* maka digunakan perhitungan SINR dengan persamaan [24] :

$$\text{SINR} = \frac{S}{I + N} \quad (2.2)$$

Keterangan :

S = *Signal Power*

I = *interferensi*

N = *Noise*

Dimana S adalah rata-rata *Signal Power* yang diterima , I adalah *interferensi*, dan N adalah *noise* yang diterima. Berdasarkan persamaan diatas

semakin besar daya yang diterima menyebabkan nilai SINR semakin besar. Namun daya yang diterima harus berada pada *threshold* yang telah ditentukan. Dan semakin tinggi nilai SINR, maka semakin tinggi pula pada nilai kualitas dari suatu kanal.

2.2.7 Interferensi

Interferensi adalah gangguan yang terjadi pada sistem transmisi sinyal. Interferensi disebut sebagai sinyal pengganggu yang tidak diharapkan. Biasanya disebabkan karena frekuensi berdekatan atau sama dengan sinyal yang diinginkan serta memiliki daya yang cukup besar. Interferensi pada jaringan seluler dibagi menjadi dua yaitu [25]:

2.2.7.1 Co-channel interference

Penyebab dari interferensi ini adalah penggunaan ulang frekuensi oleh sel-sel yang menggunakan frekuensi yang sama. Sel-sel ini didefinisikan sel-sel kanal yang sama atau sel Co-channel. Interferensi ini tidak dapat diatasi dengan cara meningkatkan nilai SINR. Hal ini disebabkan karena adanya penambahan daya pancar pengirim justru akan menaikkan interferensi dengan sel tetangga. Untuk menghindari interferensi Co-channel maka sel-sel harus dipisahkan sejauh jarak minimal tertentu yang akan meminimalisir pengaruh perambatan sinyal [25].

2.2.7.1 Adjacent channel interference

Adjacent channel interference adalah interferensi yang disebabkan adanya sinyal-sinyal pada frekuensi yang berdekatan. Interferensi ini terjadi karena filter penerima yang tidak sempurna sehingga menyebabkan frekuensi lain masuk kedalam sinyal. Permasalahan akan timbul jika dua orang pengguna yang berdekatan menggunakan kanal yang berdekatan ketika *user* mengirim sinyal dan yang lain sedang menerima sinyal dari BS.

2.2.8 Pathloss

Pathloss merupakan pelemahan kekuatan daya sinyal informasi yang terjadi saat proses transmisi oleh antena *transmitter* (Tx) ke *receiver* (Rx) yang terjadi selama data atau sinyal melewati media udara berlangsung dari antena pengirim

menuju penerima. Hal-hal yang mempengaruhi nilai *pathloss* adalah jarak pengukuran dan tinggi antena *transmitter* dan *receiver* [26].

Adapun *pathloss* eksponen adalah *pathloss* yang dipengaruhi dan ditentukan batas kritis cakupan wilayah berdasarkan parameter n . Parameter tersebut didapatkan dari pengukuran tinggi antena dan kondisi pada lingkungan sekitar. Model *pathloss* yang digunakan pada penelitian ini yaitu *log distance pathloss model* (LDM). Secara matematis, *pathloss* dinyatakan dalam persamaan [27]:

$$PL(d) = PL_{dB}(d_0) + 10n \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right), d > d_0 \quad (2.3)$$

Dimana $PL_{dB}(d_0)$ adalah besarnya *pathloss* saat berada pada jarak d_0 , d merupakan jarak dari pengirim ke penerima dalam satuan meter, dan n adalah *pathloss exponent*(PLE). Besarnya *pathloss* saat berada pada jarak d_0 didapatkan dengan persamaan :

$$PL(d_0) = G_t + G_r + 20 \log_{10} \left[\frac{\lambda}{4\pi} \right] - 10n \log_{10}(d_0) - 10 \log_{10}(L) \quad (2.4)$$

dimana G_t adalah gain antena pengirim, G_r adalah gain antena penerima, λ adalah panjang gelombang, dan L adalah bernilai 1 untuk sistem tanpa tanpa *loss*.

2.2.9 Parameter Performansi

Parameter performansi adalah parameter yang digunakan untuk mengetahui kinerja sebuah sistem. Adapun parameter performansi yang diukur pada penelitian ini adalah sebagai berikut [28]:

2.2.9.1 Data Rate

Data rate merupakan banyaknya jumlah bit yang dapat dikirimkan dalam setiap detik. Dalam sistem komunikasi digital, besarnya *bandwidth* sangat mempengaruhi kecepatan bit yang dapat dikirimkan. *Data rate* yang akan dihitung ada dua, yaitu data rate antara CU dengan BS dan data rate sisi pengguna D2D [5].

$$R_d = W \log_2(1 + P_d \cdot \gamma_d) \quad (2.5)$$

$$R_c = W \log_2(1 + P_c \cdot \gamma_c) \quad (2.6)$$

Keterangan :

R_d = *Data Rate* pada D2D

R_c = *Data Rate* pada CU

γ_c = CINR pada CU

γ_d = CINR pada D2D

p_c = *Transmit power* pada CU

p_d = *Transmit power* pada D2D

W = *Bandwidth*

2.2.9.2 Sumrate

Sumrate merupakan parameter yang digunakan untuk mengetahui banyaknya jumlah bit yang dikirimkan dalam satu detik. Hasil *data rate* dari CU dan D2D dijumlahkan untuk mendapatkan nilai *sumrate*, namun jika suatu sistem itu terdapat perangkat *relay* maka akan dijumlahkan dengan *data rate* yang ada pada *relay*. Perhitungan ini merupakan parameter utama yang akan menjadi acuan bagi parameter lain sehingga perhitungan *sumrate* harus dilakukan secara optimal. adapun persamaanya nilai *sumrate* sebagai berikut [5]:

$$SR = R_c + R_d \quad (2.7)$$

Keterangan :

SR = *Sumrate*

R_d = *Data Rate* pada D2D

R_c = *Data Rate* pada CU

2.2.9.3 Spectral efficiency

Spectral efficiency adalah parameter untuk mengukur banyaknya *data rate* atau efisiensi suatu sistem yang dapat ditransmisikan dalam *bandwidth* yang

digunakan pada sistem. Adapun persamaan berikut ini akan digunakan untuk menghitung nilai *spectral efficiency* [29].

$$\mu = \frac{SR}{BW} \quad (2.8)$$

Keterangan :

$$\begin{aligned} \mu &= \textit{Spectral Efficiency} \\ SR &= \textit{Sumrate} \\ BW &= \textit{Bandwidth} \end{aligned}$$

2.2.9.4 Power Efficiency

Power Efficiency merupakan besar daya yang ditransmisikan pada sejumlah bit tiap detik [28]. Persamaan 2.7 merupakan perhitungan yang digunakan untuk mengetahui nilai *power efficiency* pada sistem.

$$\eta = \frac{SR}{P_c + P_d} \quad (2.9)$$

Keterangan :

$$\begin{aligned} \eta &= \textit{Power Efficiency} \\ SR &= \textit{Sumrate} \\ P_c &= \textit{Tansmit power pada CU} \\ P_d &= \textit{Tansmit power pada D2D} \end{aligned}$$

2.2.10 Algoritma Iterative

Alokasi alokasi daya dilakukan disetiap skema komunikasi D2D skema *relay aided* untuk mendapatkan daya yang optimal dengan menggunakan algoritma *iterative*. Saat melakukan alokasi dengan mengambil nilai kapasitas untuk dilakukan alokasi daya pada CU dan D2D.

Pada skema komunikasi D2D dengan penambahan perangkat *relay* dapat dilakukan alokasi daya pada CU dan D2D. *Suboptimal solution* dilakukan perhitungan dengan menggunakan daya D2D yang ada pada parameter simulasi dan dimasukkan dalam persamaan 2.10.

$$P'_c = \left(\frac{\mu}{g_{c,bs}} \cdot (\max \{(P_d^{max} \cdot g_{d1,bs} + P_d^{max} \cdot g_{d2,bs}), 2P_d^{max} \cdot g_{r,bs}\} + NW) \right) \quad (2.10)$$

Pada alokasi daya D2D dan *relay* pada skema komunikasi *relay aided optimal* dilakukan sesuai kondisi nilai CINR sesuai kasus dibawah ini [5]:

$$\text{Case 1 : } (\gamma_{d_1,r} \leq \gamma_{r,d_2}) \text{ and } (\gamma_{d_2,r} \leq \gamma_{r,d_1})$$

$$\begin{aligned} P_{d_1} &= P_d^{max} \text{ and } P_{d_2} = P_d^{max} \\ P_{r_2} &= P_d^{max} \cdot \frac{\gamma_{d_1,r}}{\gamma_{r,d_2}} \text{ and } P_{r_1} \\ &= P_d^{max} \cdot \frac{\gamma_{d_2,r}}{\gamma_{r,d_1}} \end{aligned} \quad (2.11)$$

$$\text{Case 2 : } (\gamma_{d_1,r} \leq \gamma_{r,d_2}) \text{ and } (\gamma_{d_2,r} \geq \gamma_{r,d_1})$$

$$\begin{aligned} P_{d_1} &= P_d^{max} \text{ and } P_{r_1} = P_d^{max} \\ P_{r_2} &= P_d^{max} \cdot \frac{\gamma_{d_1,r}}{\gamma_{r,d_2}} \text{ and } P_{d_2} \\ &= P_d^{max} \cdot \frac{\gamma_{r,d_1}}{\gamma_{d_2,r}} \end{aligned} \quad (2.12)$$

$$\text{Case 3 : } (\gamma_{d_1,r} \geq \gamma_{r,d_2}) \text{ and } (\gamma_{d_2,r} \leq \gamma_{r,d_1})$$

$$\begin{aligned} P_{r_2} &= P_d^{max} \text{ and } P_{d_2} = P_d^{max} \\ P_{d_1} &= P_d^{max} \cdot \frac{\gamma_{r,d_2}}{\gamma_{d_1,r}} \text{ and } P_{r_1} \\ &= P_d^{max} \cdot \frac{\gamma_{d_2,r}}{\gamma_{r,d_1}} \end{aligned} \quad (2.13)$$

Case 4 : $(\gamma_{d_1,r} \geq \gamma_{r,d_2})$ and $(\gamma_{d_2,r} \geq \gamma_{r,d_1})$

$$P_{r_2} = P_d^{\max} \text{ and } P_{r_1} = P_d^{\max}$$

$$\begin{aligned} P_{d_1} &= P_d^{\max} \cdot \frac{\gamma_{r,d_2}}{\gamma_{d_1,r}} \text{ and } P_{d_2} \\ &= P_d^{\max} \cdot \frac{\gamma_{r,d_1}}{\gamma_{d_2,r}} \end{aligned} \tag{2.14}$$